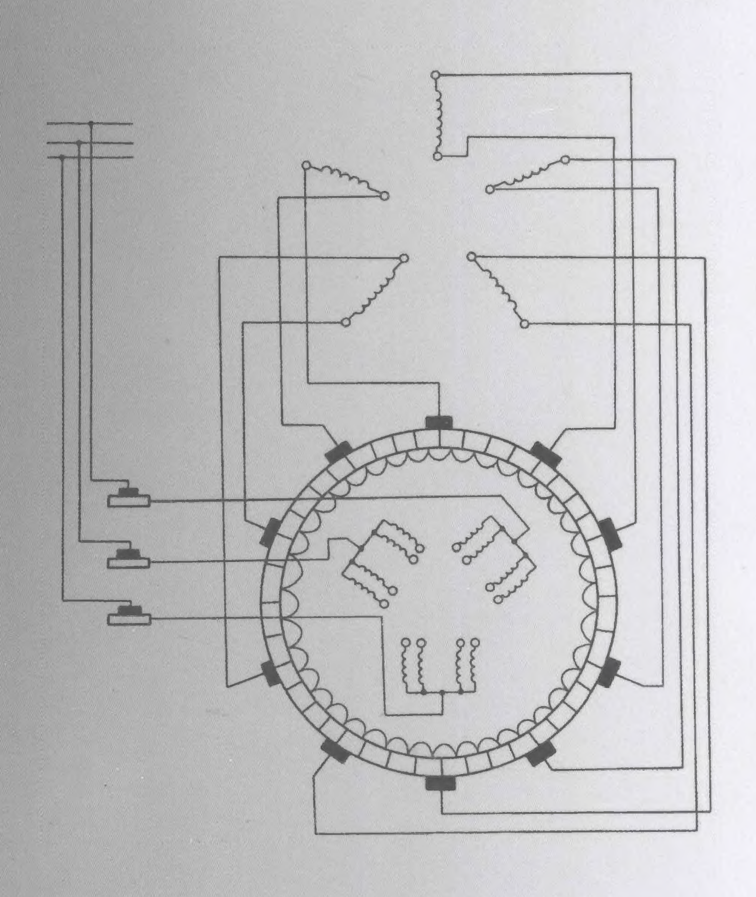
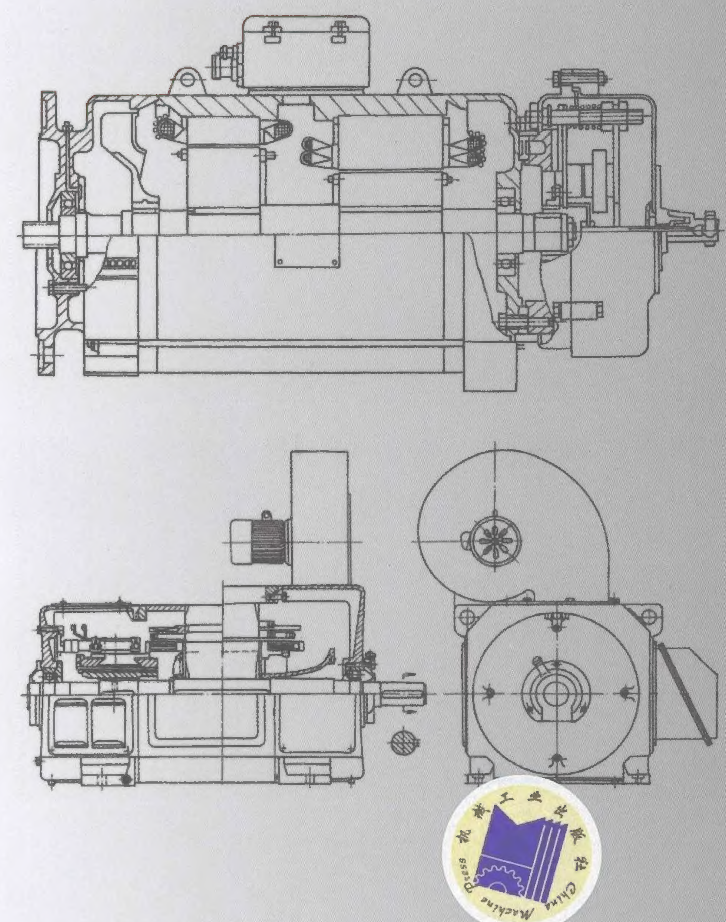
电动机修理手册

单行本

直流电动机修理
牵引电动机修理

赵家礼 主编





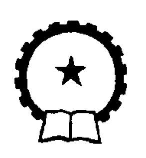


电动机修理手册

单行本

直流电动机修理
牵引电动机修理

赵家礼 主编



机械工业出版社

本书共三章，主要内容包括直流电动机修理和牵引电动机修理。直流电动机修理中，主要介绍各种直流电动机的结构特点、主要技术数据、安装方法等。另外，还介绍了直流电动机的运行维护、常见故障检修、换向器故障修理、绝缘结构、重绕工艺以及简易重绕计算等；牵引电动机修理主要介绍该机的分类、工作特点、基本技术要求、运行维护、整机故障修理，定、转子（电枢）绕组故障检查和修理。另外，还介绍了牵引电动机换向器修理和刷握装置故障修理等；直流电动机和牵引用直流电动机试验主要介绍直流电动机电枢及磁极绕组、换向系统检查，空载、温升、负载试验，火花检查，直流电动机转速变化律、无火花区域、电压电流纹波因数及电动机纹波损耗测定等。

本书适合广大电机修理工人和有关工程技术人员阅读，也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

直流电动机修理·牵引电动机修理/赵家礼主编．—北京：机械工业出版社，2008.3

（电动机修理手册：单行本）

ISBN 978-7-111-23509-5

Ⅰ.直… Ⅱ.赵… Ⅲ.①直流电机－维修－技术手册②牵引电动机－维修－技术手册 Ⅳ.TM330.7-62 TM922.72-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 022139 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：李振标 责任校对：李秋荣
封面设计：姚 毅 责任印制：杨 曦
北京机工印刷厂印刷（兴文装订厂装订）
2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·17.75 印张·607 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-23509-5
定价：38.00 元

单行本前言

《电动机修理手册》一书自1988年2月出版以来，先后重印再版多次，深受读者欢迎。

为了更好地满足广大读者需求，此次出版采取了单行本的形式以飨读者。将《电动机修理手册》第3版分为5册单行本，读者可按自己需要，有针对性的选用，从而降低购书费用，并方便携带和阅读。5册单行本有：

- 小功率电动机修理
- 三相交流异步电动机修理
- 直流电动机修理·牵引电动机修理
- 起重及冶金用三相异步电动机修理·防爆防腐电动机修理·潜水电泵与泵用电动机修理
- 特种用途电动机修理

本手册在拆分单行本的过程中，改正了原书中的错误之处和去掉了一些不适当的内容，也得到了许多同志的帮助，在此表示衷心感谢。

编者

电动机修理手册

第 3 版

主编　赵家礼
编写人（以姓氏笔划为序）

才家刚	朱建德	李圣年	沈宝堂
何　青	杨万青	杨海龙	居志尧
范全乐	胡康银	赵家礼	赵　捷
赵　健	商庆元	黄士鹏	彭友元
钱良钗	蔡廷锡	樊世昂	潘品英

第3版前言

本手册自1988年2月出版以来，先后重印多次，深受广大读者欢迎。近年来，由于我国科学技术的突飞猛进地发展，电动机的品种以及派生系列不断涌现，新制造的电动机质量要求也越来越高，这就要求从事电机修理行业的人员要及时了解到这些新产品的特殊结构、性能以及新工艺、新材料、新的质量标准等要求，否则不能胜任当前的维护和修理工作。鉴于此，为了满足各工矿企业、修理行业面临的新任务，以及对于电机修理技术的迫切要求，这次对全书做了全面的认真的修订工作。

这次修订的特点：

1）近年来全国各地的修理单位对于特种电动机的技术问题经常来信来访，说明在维修特种电动机工作中存在许多困难，因此在这次修订时，将特种电动机侧重加以详述。

2）增加了Y2系列电动机的技术数据。如Y2、YZR2等新系列的技术数据。

3）在技术数据中增加了电动机出厂参考价格和铜线重量以及电动机总重量，这些数据对于匡算电动机修理价格、用铜量以及交通运输等均有所帮助。

4）增加了防爆、防腐、起重及冶金、电梯、塔吊电动机的修理内容。

5）补充了电动机修理的新材料、新工艺、新经验和修理实例。

6）删除本“手册”中不适用的章节内容和谬误之处。同时删除了老系列电动机的技术数据。

修订后的“手册”共分十三章。

第一章　单相电动机修理的第一节至第七节由朱建德、潘品英执笔；第五节中五由胡康银、高庆元、钱良钗执笔。

第二章　小功率三相异步电动机修理由朱建德、沈宝堂、范全乐执笔。

第三、四章　三相低压、高压交流电动机修理由赵家礼执笔。

第五章　直流电动机修理由赵捷、何青、赵健执笔。

第六章　直线异步电动机修理由蔡廷锡执笔。

第七章　起重及冶金用三相异步电动机修理由杨海龙、黄士鹏执笔。

第八章　防爆、防腐电动机修理由杨万青执笔。

第九章　潜水电动机修理由李圣年执笔。

第十章　交流力矩电动机修理由胡康银、高庆元、钱良钗执笔。

第十一章　牵引电动机修理由樊世昂、居志尧执笔。

第十二章　其他特种电动机修理由赵家礼执笔。

第十三章　电动机修理试验由彭友元、才家刚执笔。

全书由赵家礼统稿和主编，第一、二章由朱建德主审。

在此次编写工作中，得到很多同行的帮助，提出许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，对书中的错误和缺点恳切希望广大读者提出批评和指正。

编者

主 要 符 号 表

本手册采用国家标准 GB/T13394—1992 规定的符号。

A　面积、电负荷、负载率
A_c　导线截面积
A_{c1}　定子绕组导线截面积
A_{c2}　转子（电枢）绕组导线截面积
A_{cm}　主绕组导线截面积
A_{ca}　副绕组导线截面积
A_{cz}　罩极绕组导线截面积
A_i　槽绝缘所占面积
A_δ　每极气隙有效面积
A_h　槽楔面积
A_s　槽面积
A_B　导条截面积
A_e　槽有效面积
A_{Fe}　铁心截面积
a　并联支路数、电刷长度，电费
AW　直流励磁绕组磁势
A_R　端环截面积
A_t　每极齿截面积
A_j　每极轭截面积
B　磁感应强度、磁通密度（简称磁密）
B_j　轭部磁密
B_t　齿部磁密
B_δ　气隙磁密
b　电刷宽度、无纬带宽度
b_{t1}　定子齿宽度
b_{t2}　转子齿宽度
b_B　导条宽度
b_1　定子槽宽
b_2　转子槽宽
b_r　径向通风道宽度
b_0　槽口宽度
b_k　端环厚度、通风道宽
b_{kr}　换向区宽度
b_p　极靴宽度
b_t　齿宽
C　电容
C_T　转矩常数
C_e　电动势常数
C_i　槽绝缘厚度
C_k　端环宽度
C_j　轭部磁压降校正系数
D_1　定子铁心外径
D_2　转子铁心外径
D_a　电枢表面直径
D_{i1}　定子铁心内径
D_{i2}　转子铁心内径
D_j　外壳直径
d_c　换向器直径
D_R　端环平均直径
d　导线直径
d_1　定子导线直径
d_2　转子导线直径
d'　代换导线直径
d''　实际选用导线直径
d_t　罩极绕组线径
d_m　主绕组线径
d_a　副绕组线径
D　转轴直径
d_{tf}　直流附加绕组线径
E　电动势、电场强度
E_a　电枢电动势
E_δ　气隙合成电动势
F　总安匝数、磁动势
F_j　轭部磁动势（安匝数）
F_t　齿部磁动势（安匝数）
F_δ　气隙磁动势（安匝数）
F_s　波幅系数
F_0　空载励磁磁动势
f　频率
f_N　额定频率
m_{Fe}　铁质量（铁重）
m_{Cu}　铜质量（铜重）
m_j　轭部质量
m_t　齿部质量
H　磁场强度
H_j　轭部磁场强度

H_t 齿部磁场强度

h_0 槽口高度

h_b 电刷高度

h_j 铁轭高度

h_p 极靴高度

h_1 定子槽高

h_2 转子槽高

h 槽楔厚度

h_B 导条高度

I 电流

I_N 额定电流

I_0 空载电流

I_{KW} 功电流

h_{t1} 定子齿高

h_{j1} 定子铁心轭高

h_{j2} 转子（电枢）铁心轭高

I_B 导条电流

I_m 励磁电流、主绕组电流

i_m 励磁电流标么值

I_a 电枢电流、副绕组电流

I_k 堵转电流、短路电流

I_{st} 起动电流

I_R 端环电流

I_1 定子相电流

I_N 额定电流

J 电流密度

K 换向片数、换向系数、负载率、变比系数

K_α 绕组分布系数、分布因数

K_p 绕组短路系数、节距因数

K_β 变换系数

K_{dp} 绕组系数、绕组因数

K_{dpm} 主绕组系数

K_{dpa} 副绕组系数

K_{dpv} v 次谐波绕组系数

K_E 空载压降系数

K_u 压降系数

K_{Fe}、K_e 铁心叠压系数

K_{c1} 定子卡氏系数、定子卡特因数

K_{c2} 转子卡氏系数、转子卡特因数

K_δ 气隙系数

K_t 转矩系数

K_ϕ 波形系数

L 电感

L_a 电枢铁心长度

L_{ef} 电枢计算长度

l_B 导条长度

l_E 定子绕组端部长度

l_p 磁极极靴长度

l_1 定子铁心长度

l_2 转子铁心长度

l 铁心平均长度

$$l=\frac{1}{2}\left(l_s+l_r\right)$$

l_{pm} 主绕组平均匝长

l_{pz} 罩极绕组平均匝长

l_v 铁心净长度

$$l_v=K_{Fe}\left(l-nb_v'\right)=K_{Fe}l_{Fe}$$

L_j 铁轭磁路长度

l_b 线圈端部平均长度

l_{ar} 线圈半匝平均长度

m 相数、质量

m_j 轭部质量

m_t 齿部质量

N 每相绕组平均串联匝数

N_m 主绕组线圈数

N_a 副绕组线圈数

N_{scm} 主绕组每槽导体数

N_{sca} 副绕组每槽导体数

N_1 定子绕组每极匝数

N_2 转子绕组每极匝数

N_{1f} 直流励磁绕组附加匝数

N_1'' 直流励磁绕组总匝数

N_2'' 转子（电枢）绕组总导体数

N_ϕ 绕组每相匝数

N_z 罩极绕组匝数

N_{sc} 每槽串联导体数

$N_{sc}=2\times$每线圈匝数

N_c 每线圈串联匝数

$N_{\phi1}$ 每相串联导体数

n 电动机转速

n_1 同步转速

n_2 额定转速

n_r 通风道数

n_{st} 定转子绕组变比

$$n_{st}=\frac{K_{cs}\cdot N_s}{K_{cr}\cdot N_r}$$

n_p 转子飞逸转速

N_t 并绕根数

P 有功功率

P_1 输入功率

P_2 输出功率
P_N 额定功率
P_e 电磁功率
P_δ 气隙功率
P_{mx} 机械功率
p 极对数
P 电动机极数
P_0 空载损耗，固定损耗
P_r 可变损耗
P_{Fe} 铁损耗
P_{fw},P_j 风摩损耗、机械损耗
P_s 杂散损耗
P_{Cu} 铜损耗
P_t 齿部损耗
P_j 轭部损耗
P_{Cua} 电枢绕组铜耗
P_a 电刷接触电阻损耗
ΣP 总损耗
Q 槽数、无功功率
Q_1 定子槽数
Q_2 转子槽数
Q_p 每极槽数
Q_m 主绕组占槽数
Q_a 副绕组占槽数
q 每极每相槽数
R_ϕ 相电阻
R_L 线电阻
R_a 电枢绕组电阻
R_B 导条电阻
R_R 端环电阻
s_f 槽满率
s 转差率
s_N 额定转差率
T 转矩、温度
T_K 堵转转矩
T_N 额定转矩
T_e 电磁转矩
T_{max} 最大转矩
T_{min} 最小转矩
T_L 负载转矩
T_1 输入转矩
t 槽距
T_2 输出转矩
t_0 导线直径比值系数
t 时间、温度、齿距

U 电压
U_N 额定电压
U_L 线电压
U_ϕ 相电压
$U_{N\phi}$ 额定相电压
V 体积、速度
v 线速度
N_s 换向元件匝数
X 电抗
X_L 线圈感抗
X_1 定子电抗
X_2 转子电抗
X_m 励磁电抗
X_e 端部电抗
X_{sc} 槽漏抗、同步电抗
X_d 谐波漏抗
X_{sk} 斜槽漏抗
X_d 直轴同步电抗
X_δ 气隙磁场基波漏抗
X_q 交轴同步电抗
y 节距
Z 阻抗、风阻、齿数
β 绕组节距比
τ 极距
t 定子齿距
t_2 转子齿距
ρ 导体电阻率
Δn 转速调整率
ΔU 电压调整率
θ_a 环境温度
θ_c 冷却介质温度
ΔU_b 一对电刷接触压降
δ 单边气隙长度、单边厚度
δ_i 计算气隙长度
δ_2 第二气隙长度
η 效率
η_N 额定效率
$\cos\varphi$ 功率因数
λ_s 槽漏磁导系数
λ_t 齿漏磁导系数
λ_e 端部漏磁导系数
λ_d 谐波漏磁导系数
γ 电导率
μ 磁导率
μ_0 真空磁导率

μ_r	相对磁导率
ν	谐波数
Φ	每极磁通
Φ_δ	每极气隙磁通
ψ	磁链
Ω	机械角速度
ω	电角速度
φ	功率因数角
ζ	电费
α	极弧系数

目　录

第一章　直流电动机修理

第一节　概　　述

一、直流电动机结构

直流电动机跟普通交流机一样也是由定子和转子两部分组成，定转子之间有气隙。定子为了导磁，机座采用钢板或铸钢制成，或用硅钢片冲压叠成。为了帮助换向，定子除主磁极外，还有换向极和补偿极。转子称为电枢，由 0.5mm 硅钢片制成电枢铁心，其槽内嵌电枢绕组。另外有换向器和电刷装置。

图 1-1 是中小型直流电动机的结构，图 1-2 是大型分半定子双电枢直流电动机的结构。

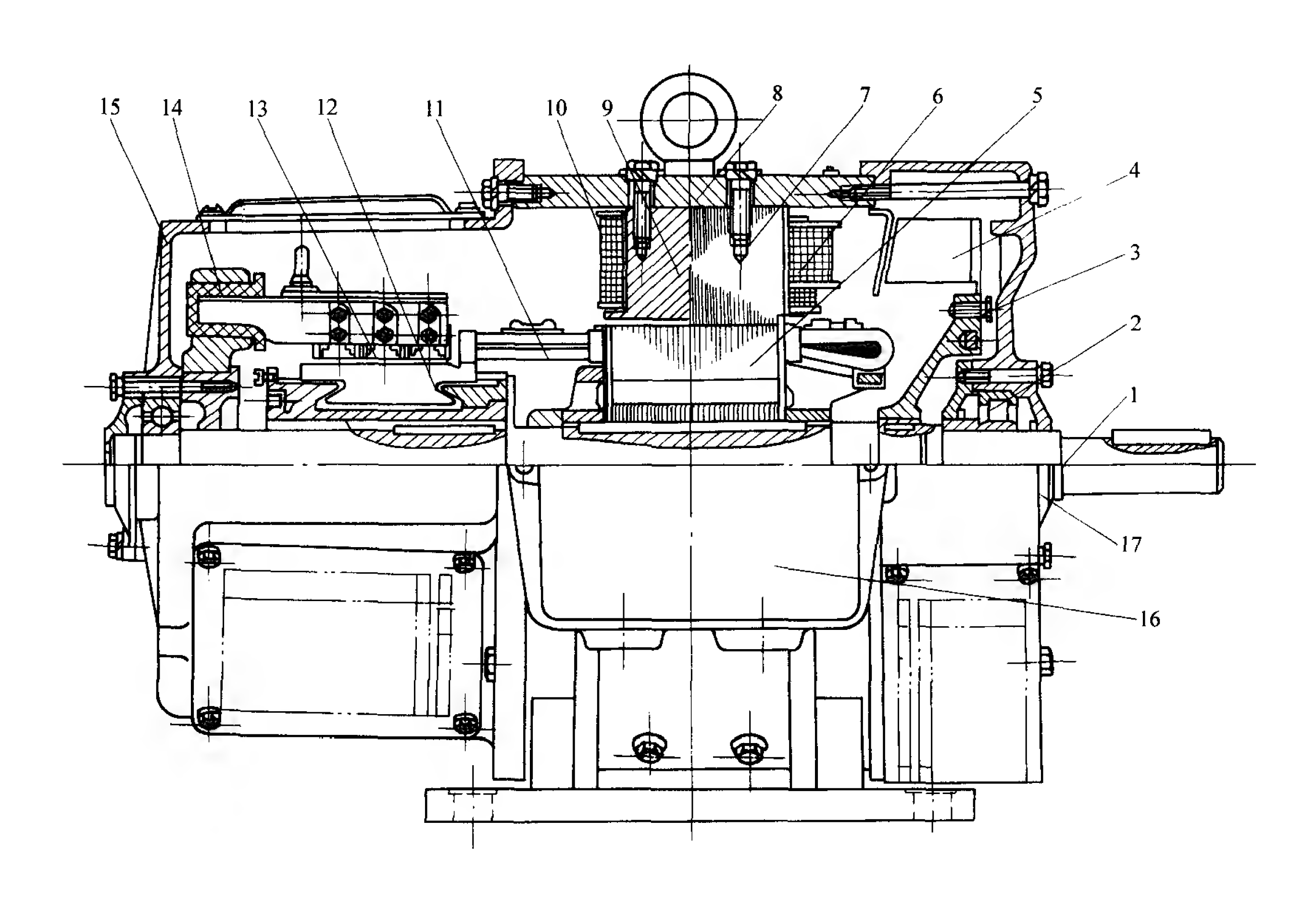


图 1-1　中小型直流电动机的结构

1—轴　2—轴承　3—后端盖　4—风扇　5—电枢铁心　6—主极绕组　7—主极铁心　8—机座　9—换向极铁心　10—换向极绕组　11—电枢绕组　12—换向器　13—电刷　14—刷架　15—前端盖　16—出线盒　17—轴承盖

图 1-3 是直流电动机定子结构。图 1-4 是小型直流电机电枢结构。

图 1-5 是直流电动机主磁极（包括补偿线圈）结构。图 1-6 是换向极结构。

图 1-7 是换向器结构图。图 1-8 是直流机电刷装置。

不同容量的直流电动机，其结构有一定差别，详见表 1-1 内所述。

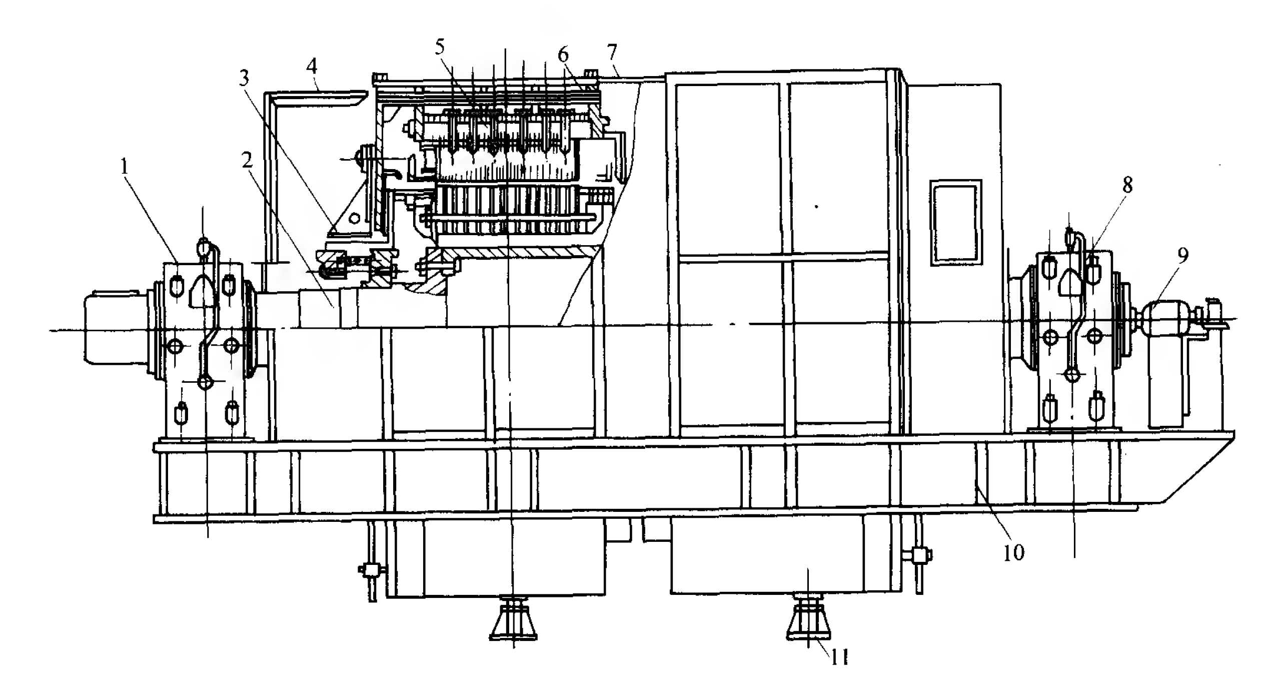


图 1-2 大型分半定子双电枢直流电动机

1—轴承 2—电枢 3—电刷装置 4—前端盖 5—定子 6—挡风罩 7—盖板

8—轴承 9—测速装置 10—底板 11—千斤顶

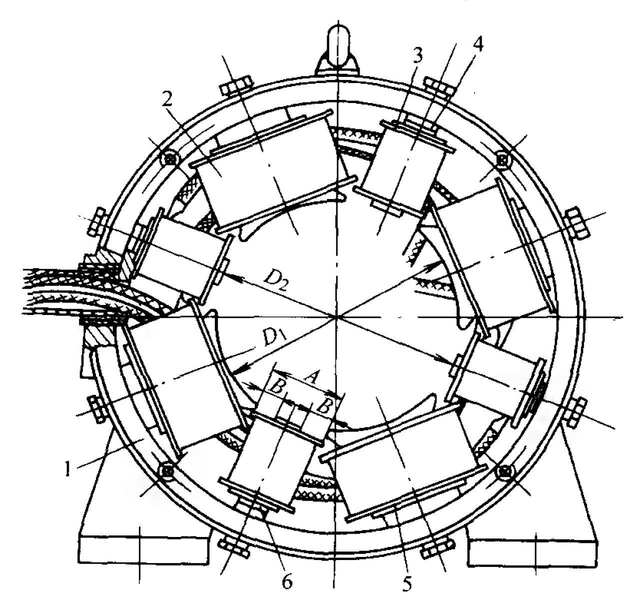


图 1-3 直流电动机定子结构

1—机座 2—主极绕组 3—换向极绕组

4—非磁性垫片 5—主极铁心 6—换向极铁心

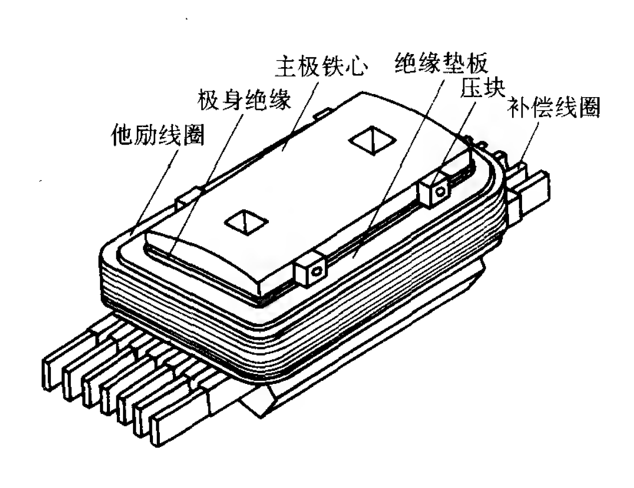


图 1-5 直流电动机主磁极

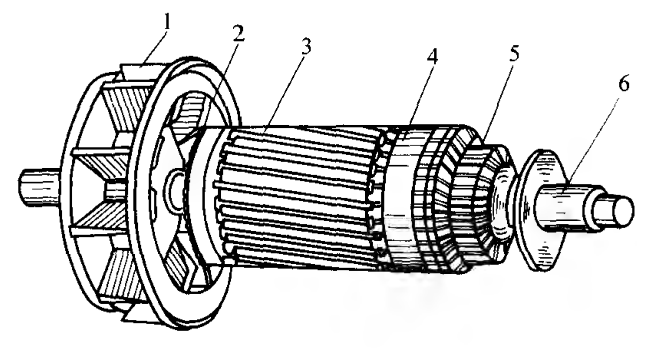


图 1-4 电枢

1—风扇 2—绕组 3—电枢铁心

4—绑带 5—换向器 6—轴

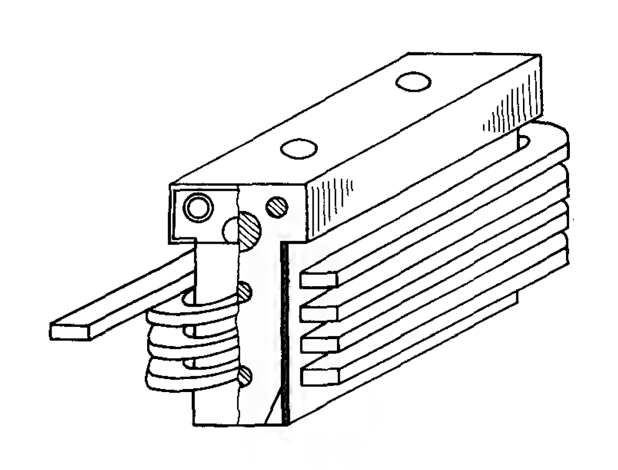


图 1-6 换向极结构

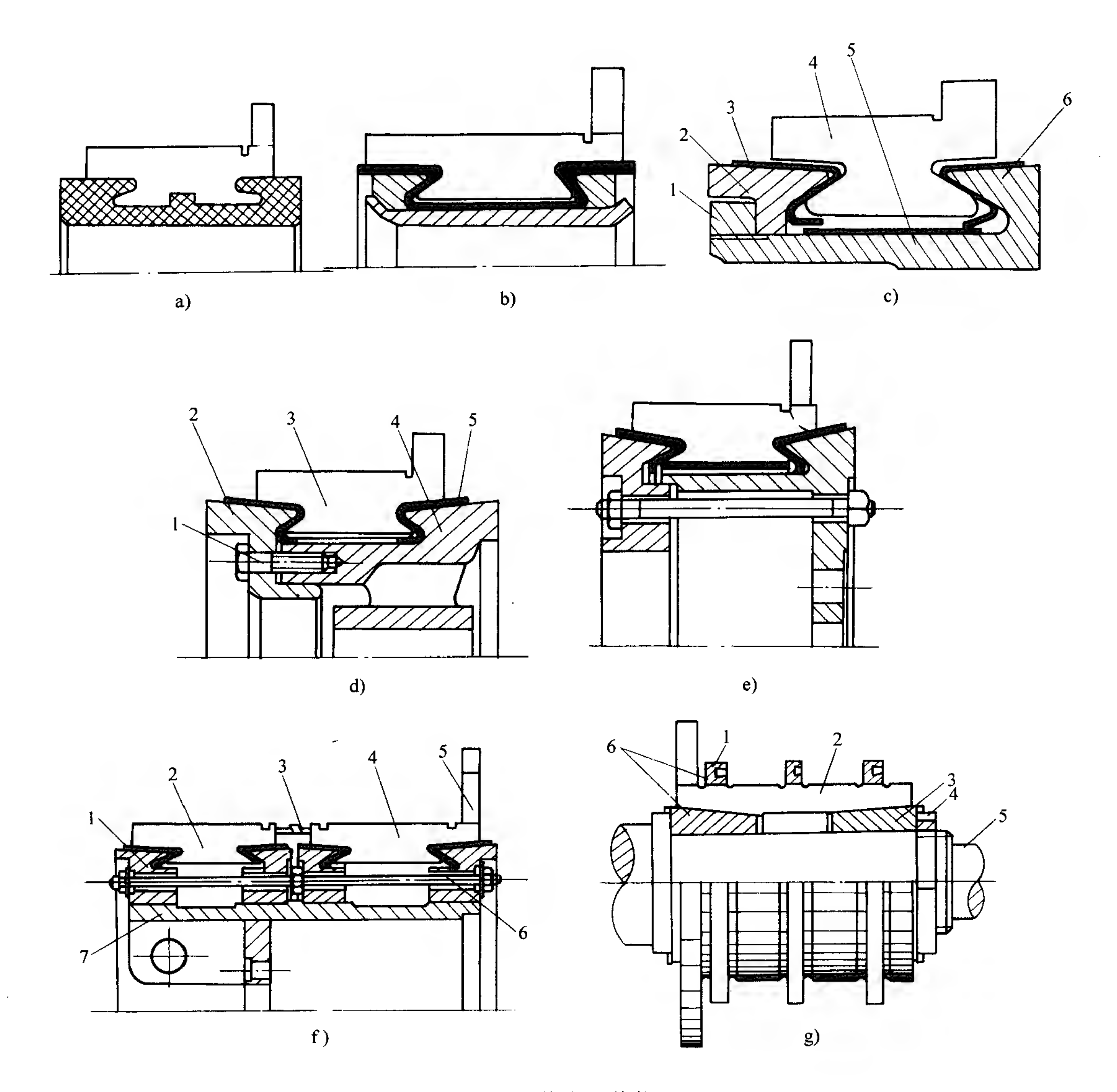


图 1-7　换向器结构图

a）塑料换向器　b）铆接紧固拱形换向器　c）螺母紧固拱形换向器　d）螺栓紧固拱形换向器
e）螺杆紧固拱形换向器　f）双段式拱形换向器　g）绑环式换向器

c）

1—螺母　2—V 形压圈
3—V 形绝缘环　4—换向片
5—绝缘套筒　6—套筒

d）

1—螺钉　2—V 形压圈
3—换向片　4—套筒
5—V 形绝缘环

f）

1—压圈　2—换向片
3—连接片　4—换向片
5—升高片　6—螺杆
7—套筒

g）

1—绑环　2—换向片
3—锥形套筒　4—螺母
5—轴　6—绝缘

表 1-1　大、中、小型直流电动机在结构上的主要差别

结构名称	中小型电机	大型电机
通风冷却方式	一般采用自扇冷式通风，中型直流电动机多数采用他扇冷式通风	普遍用循环冷却通风或管道直通冷却方式通风
机座	常用焊接、铸钢或叠片整体机座	铸钢、焊接或叠片分半结构机座

（续）

结构名称	中小型电机	大型电机
电枢铁心	由整圆冲片叠装在带键轴上，部分中型电机的冲片叠装在电枢支架上	用扇形冲片拼成圆，冲片与支架间用切向和径向楔键或鸽尾筋固定
轴承	小型常用滚动轴承，中型少数用座式滑动轴承	多数用座式滑动轴承，为提高工作可靠性，某些滑动轴承采用油盘式带油润滑和油泵顶起装置
换向器	常采用塑料换向器和螺母、螺栓、螺杆紧固的拱形换向器（其中塑料换向器一般仅适用于小型电机），换向器系直接套装在轴上	常用长螺杆固定的拱形换向器或分段换向器，换向器固定在电枢支架上
电刷装置	小型电机的刷握为直刷盒，刷架固定在端盖或轴承盖上，中型电机刷握用直刷盒，刷架固定在端盖上	刷握有直刷盒和斜刷盒两种，多数用斜刷盒。刷杆座圈为分半结构，固定于机座或独立的支架上
与原动机或传动机械的连接方式	中小型电机一般用弹性连接，少数中型电机用刚性连接	刚性连接

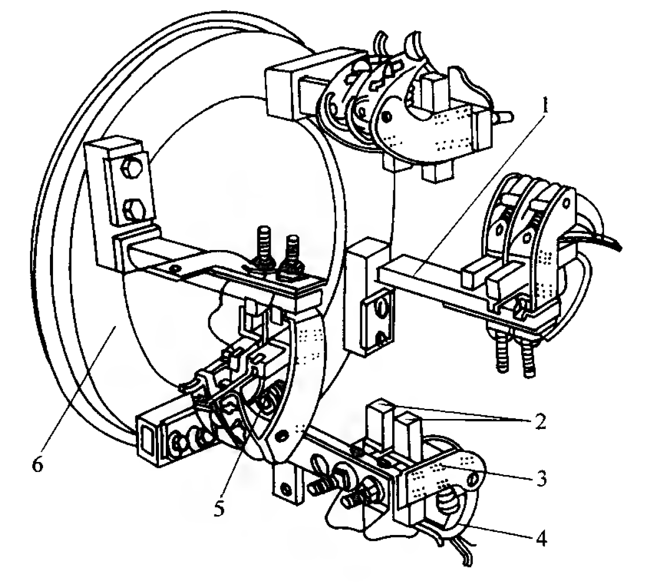


图 1-8　电刷装置
1—刷杆　2—电刷　3—刷盒
4—压指　5—弹簧　6—刷杆座

二、直流电动机特点及工作原理

（一）直流电动机特点

直流电动机具有以下特点：

1）调速特性好，具有调速方便、平滑，调速范围广等特点。

2）能承受频繁冲击负载，过载能力强，能满足各种机械负载的特性要求。

3）能实现频繁快速起、制动以及逆向旋转，适应工矿企业自动化系统的各种不同的特殊要求。

由于直流电动机具有以上的优越性，虽然大规模集成电路和半导体等技术的发展，以交流机代直流机的研究，有“以交代直”的发展趋势，但目前大型直流电动机仍在生产和使用。对于电机修理部门，还要承接这方面的修理改造任务。

当前直流电动机被广泛应用在冶金、矿山、交通运输、纺织印染以及高调速的传动领域之中。

（二）直流电动机工作原理

直流电动机是将电源的电能转变为从转轴上输出的机械能的电磁转换装置。

定子励磁绕组通入直流励磁电流，产生励磁磁场。当电枢从外界引入直流电，经电刷传给换向器，再通过换向器将此直流电转化为交流电引入电枢绕组，并产生电枢电流，此电流产生磁场，与励磁磁场合成为气隙磁场。电枢绕组切割合成气隙磁场，按左手定则可判断出电枢产生转矩，这就是直流电动机的简单工作原理。

三、直流电机的分类及产品代号

直流电机按励磁方式分类，有它励和自励两种，自励的励磁方式包括：并励、串励、复励等。直流电动机的励磁方式的接线图如图 1-9 所示。

直流电动机按用途分类，见表 1-2。

直流电机按电枢直径分类，电枢直径在 1000mm 以上的，称为大型直流机；电枢直径在 425～1000mm 范围内的，称为中型直流机；电枢直径小于 425mm 的，称为小型直流机。

按防护方式分类，有开启式、防护式、防滴式、全封闭式和封闭防水式等。

直流电动机的产品代号见表 1-3。

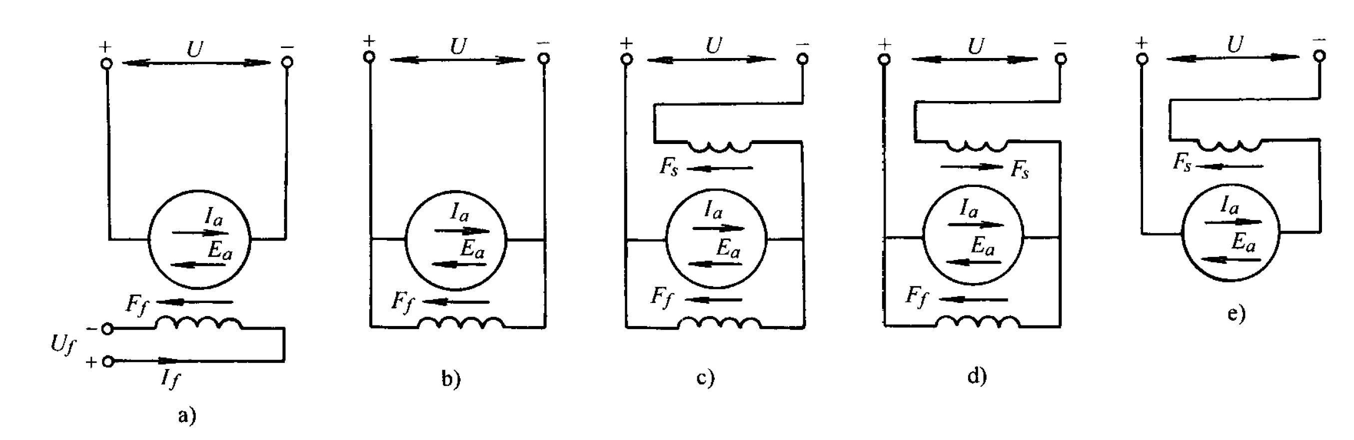


图 1-9 直流电动机励磁方式

a）他励 b）并励 c）积复励 d）差复励 e）串励

表 1-2 直流电动机按用途的分类

序号	产品名称	主要用途	型号	代号意义
1	直流电动机	基本系列，一般工业应用	Z	直
2	广调速直流电动机	用于大范围恒功率调速系统	ZT	直调
3	起重冶金直流电动机	冶金辅助传动机械	ZZJ	直重金
4	直流牵引电动机	电力传动机车、工矿电机车和蓄电池车	ZQ	直牵
5	船用直流电动机	船舶上各种辅助机械	Z-H	直船
6	精密机床用直流电动机	磨床、坐标镗床等精密机床	ZJ	直精
7	汽车起动机	汽车、拖拉机、内燃机等	ST	直拖
8	挖掘机用直流电动机	冶金矿山挖掘机	ZKJ	直矿掘
9	龙门刨直流电动机	龙门刨床	ZU	直刨
10	无槽直流电动机	快速动作伺服系统	ZW	直无
11	防爆增安型直流电动机	矿井和有易燃气体场所	ZA	直安
12	力矩直流电动机	作为速度和位置伺服系统的执行元件	ZLJ	直力矩
13	直流测功机	测定原动机效率和输出功率	CZ	测直

表 1-3 直流电动机产品代号

序号	产品名称	产品老代号	产品新代号	代号意义	序号	产品名称	产品老代号	产品新代号	代号意义
1	直流电动机	Z、ZO、ZD	Z	直	22	龙门刨用直流电动机		ZU	直(刨)
2	高速(快速)直流电动机		ZK	直(快)	23	空气压缩机用直流电动机	ZKY	ZKY	直空压
3	幅压直流电动机		ZYF	直压幅	24	挖掘机用直流电动机		ZWJ	直挖掘
4	永磁直流电动机(铝镍钴)		ZY	直永	25	矿井卷扬机用直流电动机	ZDK	ZKJ	直矿卷
5	永磁直流电动机(铁氧体)		ZYT	直永铁	26	辊道用直流电动机		ZG	直辊
6	稳速永磁直流电动机(铝镍钴)		ZYW	直永稳	27	轧机主传动直流电动机		ZZ	直轧
7	稳速永磁直流电动机(铁氧体)		ZTW	直铁稳	28	轧机辅传动直流电动机		ZZF	直轧辅
8	无槽直流电动机		ZW	直无	29	电铲用起重直流电动机	ZZC、ZC	ZDC	直电铲
9	广调速直流电动机		ZT	直调	30	冶金起重用直流电动机	ZZ、ZZK、ZZY	ZZJ	直重金
10	他励直流电动机		ZLT	直励他					
11	并励直流电动机		ZLB	直励并	31	轴流式直流通风机		ZZT	直轴通
12	串励直流电动机		ZLC	直励串	32	正压型直流电动机		ZDZY	直电正压
13	复励直流电动机		ZLF	直励复					
14	无换向器直流电动机		ZWH	直无换	33	增安型直流电动机		ZA	直安
15	空心杯直流电动机		ZX	直心	34	隔爆型直流电动机		ZB	直爆
16	印刷绕组直流电动机		ZN	直(印)	35	脉冲直流电动机		ZM	直脉
17	减速永磁直流电动机		ZYJ	直永减	36	试验用直流电动机		ZS	直试
18	石油井下用永磁直流电动机		ZYY	直永油	37	录音机永磁直流电动机		ZL	直录
19	静止整流电源供电直流电动机		ZJZ	直静整	38	电唱机永磁直流电动机		ZCJ	直唱机
20	精密机床用直流电动机		ZJ	直精	39	玩具直流电动机		ZW	直流
21	电梯用直流电动机	ZTD	ZTD	直梯电	40	纺织用直流电动机		FZ	纺直

四、直流电动机铭牌数据及出线标志

（一）铭牌数据

直流机铭牌上的数据是额定值，做为选择和使用直流机的依据。直流机铭牌见图 1-10 所示。

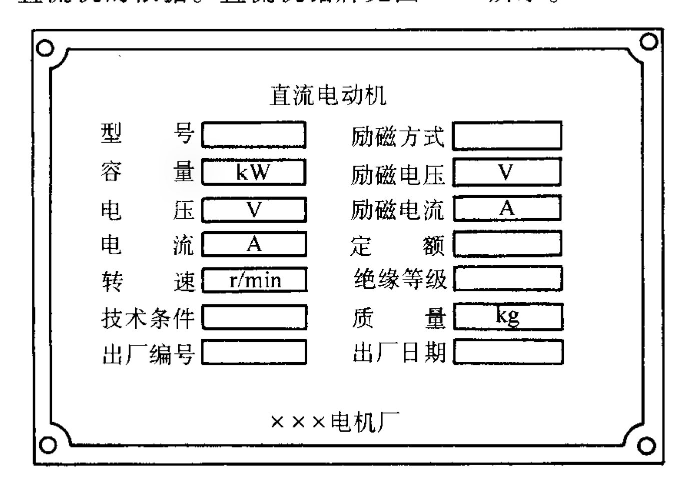


图 1-10　直流电动机铭牌

1. 型号

型号包含电机的系列、机座号、铁心长度、设计次数、极数等，详见各系列直流机介绍中的型号含义内容。

2. 额定功率

对于直流电动机是指其在长期使用时，轴上允许输出的机械功率。一般用 kW 表示单位。

3. 额定电压

对于直流电动机是指在额定条件下运行时从电刷两端施加给电动机的输入电压。单位用 V 表示。

4. 额定电流

对于电动机是指在额定电压下输出额定功率时，长期运转允许输入的工作电流。单位用 A 表示。

5. 额定转速

当电机在额定工况下（额定功率、额定电压，额定电流）运转时，转子的转速称为额定转速。单位用 r/min 表示。直流电动机铭牌往往有低、高两种转速，低转速是基本转速，高转速是指最高转速。

6. 励磁方式

是指励磁绕组的供电方式。通常有他励和自励两种。自励又有串励、并励和复励三种，复励包括差复励和过复励两种。

7. 励磁电压

是指励磁绕组供电的电压值。一般有 110V、220V 等。单位是 V。

8. 励磁电流

在额定励磁电压下，励磁绕组中所流通的电流大小。单位是 A。

9. 定额

也就是电动机的工作方式，是指电动机在正常使用时的持续时间，一般分为连续制、断续制和短时制 3 种。

10. 绝缘等级

是指直流机制造时所用绝缘材料的耐热等级。一般有 B 级、F 级和 H 级等。

11. 额定温升

指电机在额定工况下运行时，电机所允许的工作温度减去绕组环境温度的数值。单位用 K 表示。

（二）出线标志

直流电机的出线标志见表 1-4。

表 1-4　直流电动机出线标志

绕组名称	以前标志		目前标志		IEC 推荐	
	始端	末端	始端	末端	始端	末端
电枢绕组	S_1	S_2	S_1	S_2	A_1	A_2
换向绕组	H_1	H_2	H_1	H_2	B_1	B_2
串励绕组	C_1	C_2	C_1	C_2	D_1	D_2
并励绕组	F_1	F_2	B_1	B_2	E_1	E_2
他励绕组	W_1	W_2	T_1	T_2	F_1	F_2
补偿绕组	B_1	B_2	BC_1	BC_2	C_1	C_2

当电机内有几组同样名称的绕组，或一种绕组分几路引出机外时，其始端和末端除用字母标志外，还需以数字 1-2、3-4、5-6 等做为注脚。

五、直流电动机的电枢绕组

（一）电枢绕组类别

电枢绕组按照元件与换向片之间不同的连接规律，有叠绕组、波绕组、蛙绕组以及其他特殊绕组形式。

叠绕组、波绕组、蛙绕组又有单叠、复叠；单波、复波；单蛙、复蛙绕组之分。

图 1-11 是不同类型绕组的展开图。

叠绕组有单叠绕组和复叠绕组之分。单叠绕组是指后一个绕组元件相对于前一绕组元件仅移过一个槽，每个元件相互叠放，故称单叠绕组，其特点是合成节距 $y=1$，见图 1-11a（所示，复叠绕组见图 1-11b）所示。

波绕组也有单波和复波绕组之分。单波绕组是指一个绕组元件的两端分别接到相隔较远的两个换向片上，相互连接的两个元件也相隔较远，每支路元件展

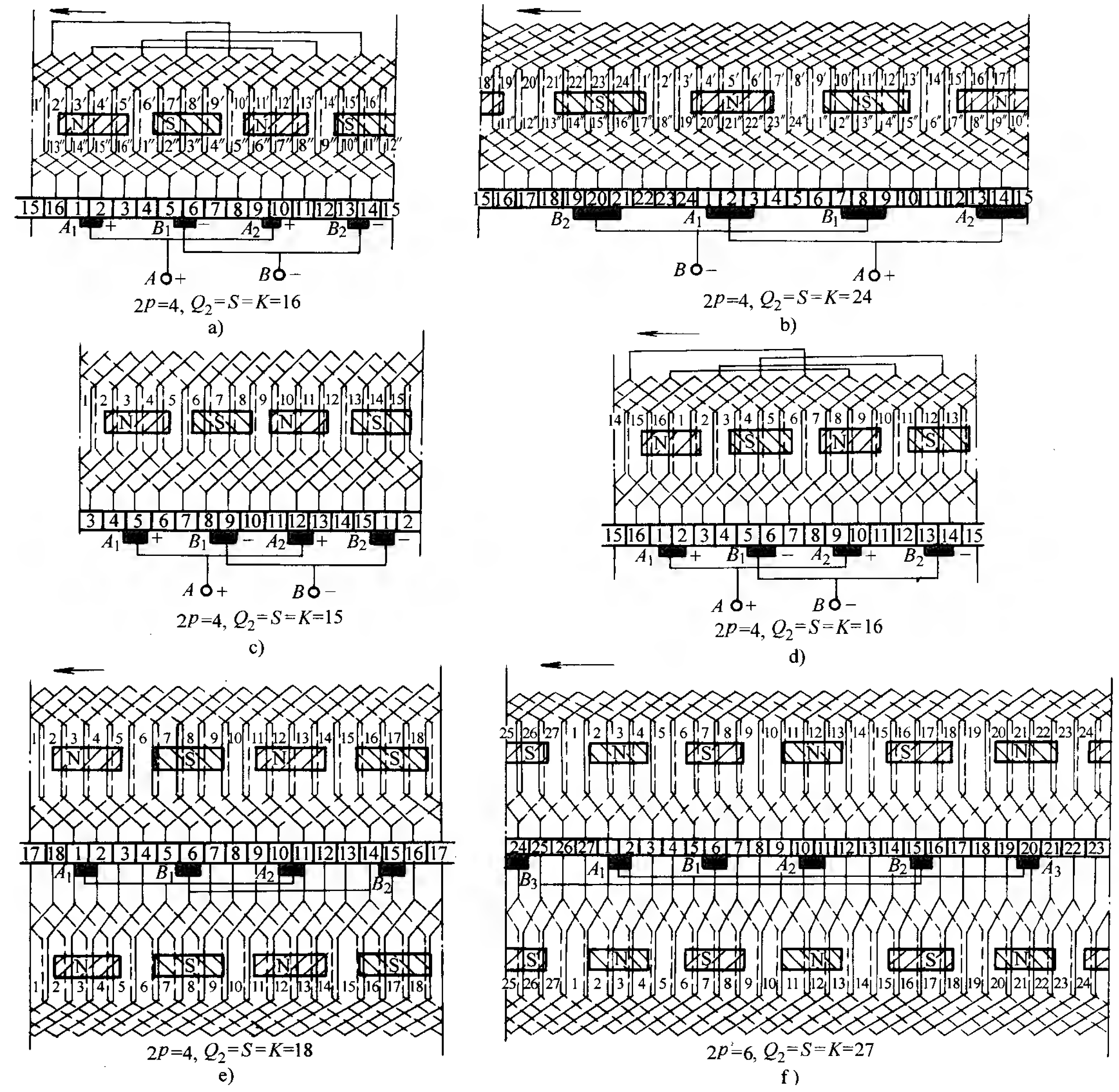


图 1-11　不同类型绕组的展开图

a）单叠绕组　b）复叠绕组　c）单波绕组　d）复波绕组　e）单蛙绕组　f）复蛙绕组

Q_2—转子槽数　K—换向片数　S—绕组元件数

开呈波浪形、故称波绕组，见图 1-11c、d 所示。

蛙绕组也有单蛙和复蛙绕组之分。

蛙绕组是由接在同一换向器上并联工作的叠绕组和波绕组组合而成的一种混合绕组，见图 1-11 中 e、f 所示。

（二）电枢绕组节距

1. 槽节距 y_Z

为一个元件的两个边在电枢圆周上的跨距，用槽数表示。

$$y_Z = \frac{Q_2}{2p} \mp \varepsilon_Q$$

式中　Q_2——电枢槽数；

$2p$——电机极数；

ε_Q——使 y_Q 为整数的附加小数。当 $\varepsilon_Q \leqslant 1$ 时，取“－”号，为短距绕组；取“＋”号时，为长距绕组；$\varepsilon_Q=0$ 时，为整距绕组。

短距绕组对换向有利，而整距绕组的感应电动势和电磁转矩最大，一般不采取长距绕组。

2. 第一节距 y_1

为一个元件的两个元件边在电枢圆周上的跨距，用换向片数 K 表示。

$$y_1 = \frac{K}{2p} \mp \varepsilon_K = u\left(\frac{Q_2}{2p} \mp \varepsilon_K\right)$$

式中　u——每槽每层并列的元件边数，通常为 1～5 个，如图 1-12 所示。

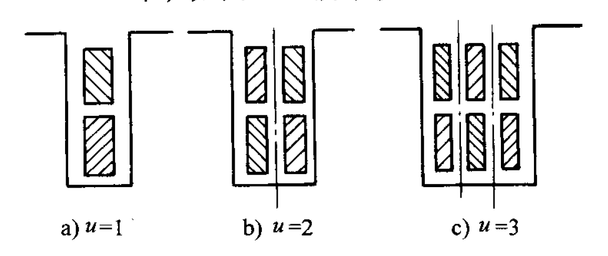


图 1-12　槽内各元件边的安置

3. 换向器节距 y_K

为一个元件的两个出线端在换向器上的跨距，用换向片数表示。

4. 合成节距 y

为两个串联元件的对应边在电枢圆周上的跨距，用换向片数表示。

5. 第二节距 y_2

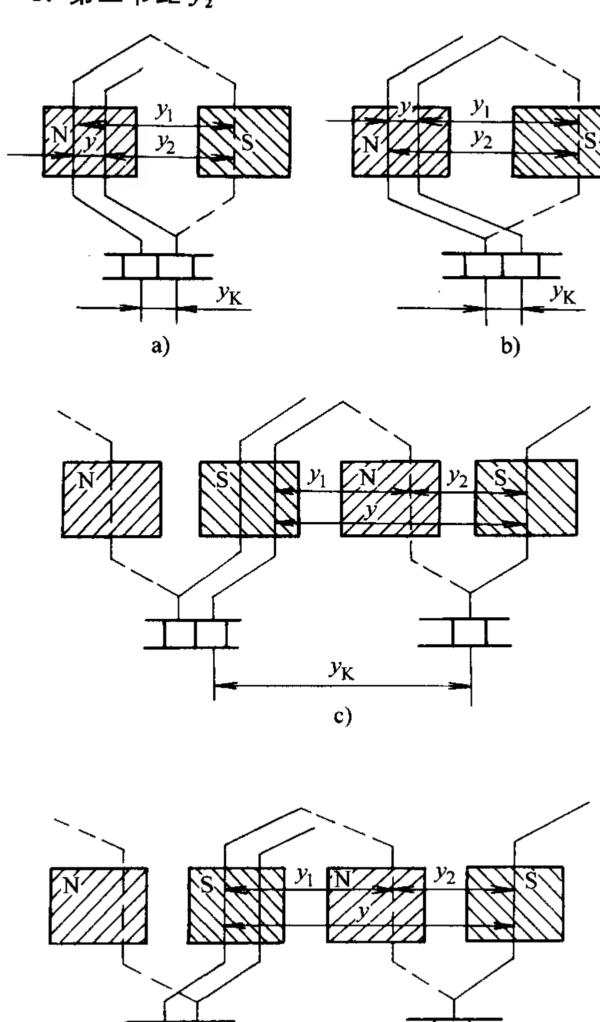


图 1-13　不同类型绕组的节距

a）叠绕开口式（前进）　b）叠绕交叉式（后退）

c）波绕开口式（后退）　d）波绕交叉式（前进）

为接在同一换向片上的两个元件边在电枢圆周上的跨距，用换向片数表示，不同类型绕组的节距如图 1-13 所示。

（三）均压线

常见的均压线有两种，一种是甲种均压线，一种是乙种均压线。甲种均压线是用以消除各个磁极下磁通的不对称，乙种均压线是用以消除各换向片间电位分布不均匀。

单叠绕组采用甲种均压线连接。为了能够装设甲种均压线，要求下式为整数

$$\frac{Q_2}{p}=\frac{K}{np}=\text{整数}$$

甲种均压线的节距 y_e

$$y_e=\frac{K}{p}$$

一个单叠绕组最多可能有的甲种均压线数为K/p。一般不用全部均压线，用一部分均压线即可。

式中　K——换向片数；

p——极对数；

Q_2——电枢槽数；

n——每槽每层并列的元件边数。

单波绕组仅有两个并联支路，每个支路都是由各对磁极极面下的绕组元件串联起来，所以磁场的不对称不会在单波绕组中引起环流，故单波绕组不需甲种均压线连接。

双闭路以波绕组有两个独立回路。每一个单波绕组不需甲种均压线，但两个波绕组是靠外面电刷并联的，电刷接触电阻变化使两个独立回路的接触电压降不相等，使各支路电流分配不均，所以要采用乙种均压线连接。

乙种均压线全额数目为 K/a，实际应用上可选用一半即可。

式中　a——绕组并联支路数。

单闭路的双波绕组不需要乙种均压线。因为两套波绕组不独立。

双叠绕组可同时采用甲、乙种均压线，甲种均压线用于各独立的单叠绕组，乙种均压线用于两个单叠绕组之间。

均压线一般装设在换向器端，也有的装在非换向器端或穿过电枢铁心内部，其两端与电枢绕组连接。

均压线结构型式有环式、条式、人字式和渐开线式等。

六、直流电动机的励磁绕组

励磁绕组也称主极绕组，按励磁方式不同，有他

励绕组、并励绕组、串励绕组和复励绕组等。并励绕组与电枢绕组并联，而串励绕组与电枢绕组串联，复励绕组是并励与串励绕组同时与电枢绕组并串联结。

定子上除励磁绕组外，还有换向极绕组和补偿绕组。

换向极绕组是套在介于主极铁心中间的换向极的铁心上。换向极绕组与电枢串联，电流大，一般用裸扁铜线或裸铜母线绕制，小型电机是用一般玻璃丝包扁线或圆铜线绕制。

不论是主极绕组还是换向极绕组一般都是采取集中式绕制方式。

补偿绕组是嵌入在主极铁心的极靴的补偿槽内、通常有菱形补偿绕组、同心式补偿绕组和条式补偿绕组，详见图 1-14 所示。

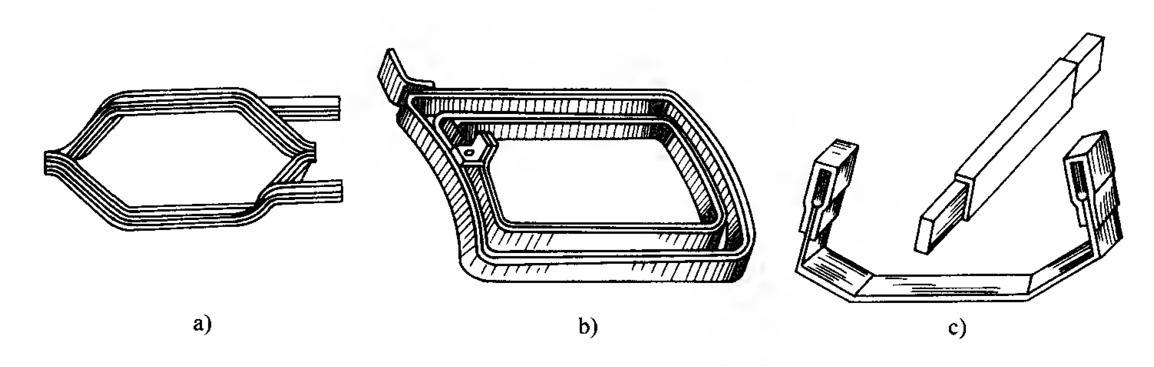


图 1-14　补偿绕组结构型式
a）菱形　b）同心式　c）条式

第二节　Z2 系列直流电动机

一、概　　述

Z2 系列直流电动机容量范围为 0.4～200kW，为我国 50 年代的产品，工作方式为连续式，适用于正常使用环境和正常负载条件。

电动机的额定电压为 110V 及 220V，少数派生系列的额定电压为 440V。

绝缘等级：1～3 号机座，转子为 E 级，按 A 级考核；定子为 B 级，按 E 级考核。4～11 号机座，定转子均为 B 级绝缘。

通风方式有两种，自带风扇轴向抽风式和自带鼓风机的外通风式。后者仅在 7～11 号机座使用。

励磁方式有并励和他励两种，在特殊情况下也制造串励绕组，但一般都制成并励方式。

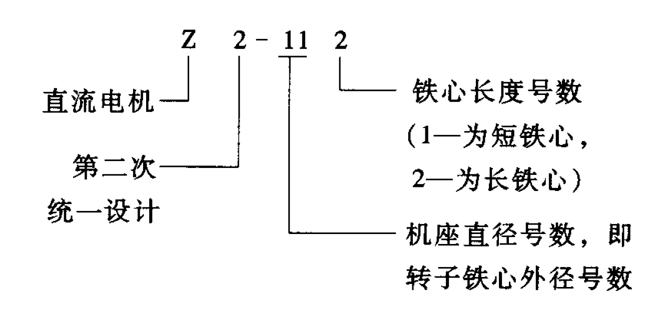
他励励磁电压为 110V 及 220V 两种。

调速方法有两种，一种是削弱磁场使转速上升，另一种是降低电枢电压使转速下降。对于外通风他励电动机有向上和向下两种调速特性，削弱磁场向上调速时为恒功率运行，降低电枢电压向下调速时为恒转矩运行。

此系列电动机可正反方向运行。主要广泛使用在冶金、轻工机械、纺织、印刷、水泥、造纸等机械设备上，量大面广，当前修理单位常碰到这类电动机的修理工作。

二、型 号 含 义

例



此例型号说明：直流电机，第二次全国统一设计，为 11 号机座，长铁心。

三、结 构 特 点

1～8 号机座采用钢板焊接结构，9～11 号机座为铸钢结构。此系列的电机端盖均为铸铁铸成。1～3 号机座的前端盖有两个窗口，4～11 号机座有四个窗口。立式电动机有四个窗口，所有窗口均用百页窗盖板防护。

转轴采用 35 号热轧圆钢制造。

主极铁心采用 1mm 厚的钢板冲压铆合而成，电枢铁心采用涂漆的 0.5mm 厚硅钢片冲压叠制而成。换向极铁心采用扁钢加工而成。1～3 号机座的 2 极电机用 1 个换向极，4～11 号机座的 4 极电机用 4 个

换向极，换向极数等于主极数，在结构上采用框架式极身绝缘。

电枢线圈用电磁线：1～3号机座，采用QZ高强聚酯漆包圆铜线；4～6号机座，采用QQSBC单玻璃丝高强漆包线；4～11号机座，采用SBECB双玻璃丝包扁线。

并励绕组均用QZ高强聚酯漆包圆铜线，串励和换向极绕组采用QB或SBECB高强聚酯漆包圆铜线、双玻璃丝包扁线以及TBR裸铜扁线。

线圈经真空压力整浸，表面喷覆盖漆。

换向器铜片采用高纯度电解铜经冷拨而成，绝缘板采用玻璃丝塑料（塑料换向器）和云母板压制而成。

1～6号机座采用铸铝径向风扇；7～11号机座采用薄钢板冲铆结构的径向风扇。

出线盒位置在电动机机座的左侧（从轴伸端看）。

四、Z2系列直流电动机轴承型号

Z2系列直流电动机各机座应用的轴承型号见表1-5。

表1-5　Z2系列电动机轴承型号

机座号	卧式		立式	
	传动端	换向器端	传动端	换向器端
Z2-1	303	303	303	303
Z2-2	304	304	304	304
Z2-3	305	305	305	305
Z2-4	307	307	307	307
Z2-5	308	308	308	308
Z2-6	309	309	309	309
Z2-7	2310	309	310	46309
Z2-8	2311	310	311	46310
Z2-9	2314	313	314	46313
Z2-10	2317	315	317	46315
Z2-11	2320	318	320	46318
Z2-12	2320	320	320	46320
Z2-13	2320	320	320	46320
Z2-14	32326	326	326	46326

注：6号机座以下，两端均为滚珠轴承，型号相同，7～11号机座传动端为滚柱轴承，非传动端为滚珠轴承。立式电机传动端为滚珠轴承，非传动端为止推滚珠轴承。

五、Z2系列直流电动机主要技术数据

附表1-1给出Z2系列直流电动机主要技术数据。

六、Z2系列直流电动机安装及外形尺寸

图1-15是Z2系列1～11号机座电动机（卧式，机座带底脚）外形及安装尺寸图。表1-6给出Z2系列1～11号机座电动机（卧式机座带底脚）外形及安装尺寸。图1-16是Z2系列1～8号机座电动机（卧式、机座带有底脚、端盖有凸缘）外形及安装尺寸图，表1-7给出Z2系列1～8号机座电动机（卧式、机座带有底脚、端盖有凸缘）外形及安装尺寸。图1-17是Z2系列1～8号机座电动机（卧式、机座不带底脚，端盖有凸缘）外形及安装尺寸图。表1-9给出Z2系列1～8号机座电动机（卧式、机座不带底脚、端盖有凸缘）外形及安装尺寸。图1-18是Z2系列1～11号机座电动机（立式、机座不带底脚、端盖有凸缘）外形及安装尺寸图。表1-9给出Z2系列1～11号机座（立式、机座不带底脚、端盖有凸缘）外形及安装尺寸。图1-19是Z2系列1～8机座电动机（立式、机座带底脚、端盖有凸缘）外形及安装尺寸图。表1-10给出Z2系列1～8号机座电动机（立式、机座带底脚、端盖有凸缘）外形及安装尺寸。

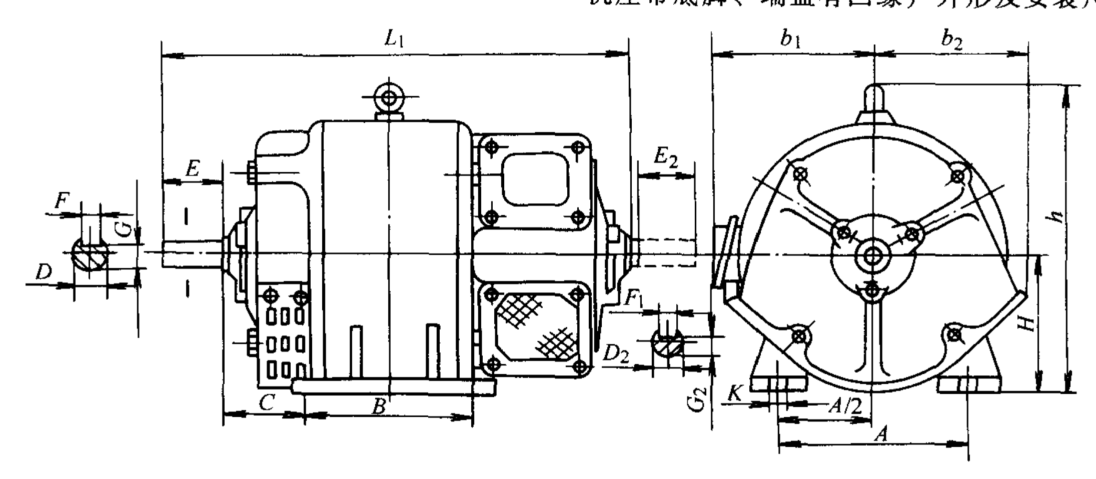


图1-15　Z2系列1～11号机座电动机（卧式、机座带有底脚）外形及安装尺寸图

表 1-6　Z2 系列 1～11 号机座电动机（卧式、机座带底脚）外形及安装尺寸

机座号	安装尺寸/mm														外形尺寸/mm			
	A	$A/2$	B	C	D	D_2	E	E_2	H	K	F	F_1	G	G_2	b_1	b_2	h	L_1
11 12	145	72.5	155 175	80	16	16	40	40	112	φ12	5	5	12.8	12.8	170	122	254	401 421
21 22	220	100	180 205	73	18	18	40	40	140	φ15	5	5	14.8	14.8	199	163	320	417 442
31 32	225	112.5	225 260	74	22	22	50	50	150	φ15	6	5	18.2	18.2	212	178	343	485 520
41 42	240	120	195 225	103	28	28	60	60	160	φ15	8	8	23.5	23.5	245	175	363	524 554
51 52	264	132	225 265	115	32	32	80	80	180	φ19	10	10	26.8	26.8	260	200	415	606 646
61 62	300	150	265 300	100	38	38	80	80	225	φ19	12	12	32.8	32.8	294	230	488	637 671
71 72	410	205	315 355	95	42	38	110	80	250	φ24	12	12	36.8	32.8	346	268	544	768 808
81 82	460	230	355 395	105	48	42	110	110	280	φ24	14	12	42.2	36.8	381	308	609	855 895
91 92	550	275	400 455	149	65	60	140	140	315	φ24	18	18	57.9	52.9	464	366	700	1010 1065
101 102	600	800	460 510	171	75	70	140	140	355	φ28	20	20	67.2	62.2	494	405 (400)	790 (800)	1061 1211
111 112	650	325	535 585	165	90	85	170	170	460	φ35	24	24	81	76	526	443	889	1261 1211

注：上海南洋电机厂生产的 Z2 系列外形尺寸与统一系列略有出入，9～11 号机座的出线盒在换向器端盖的端盖上。

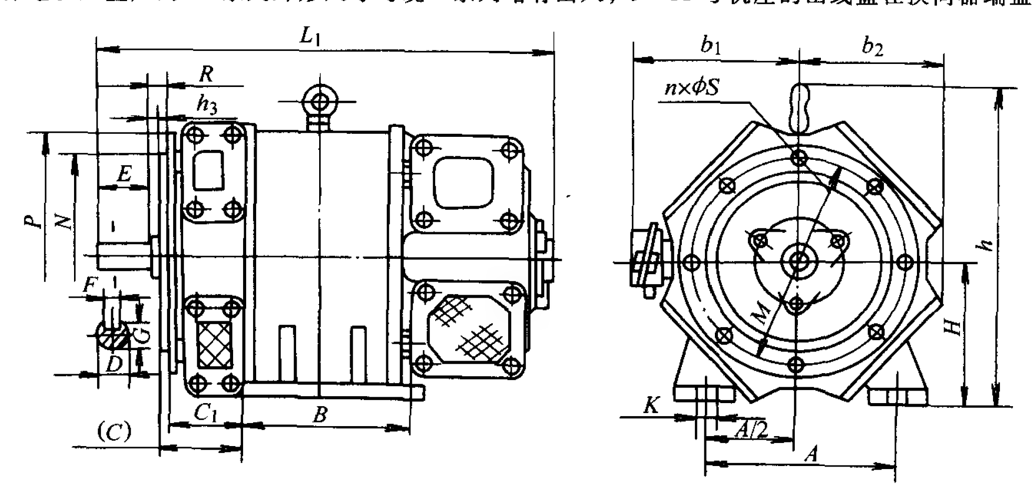


图 1-16　Z2 系列 1～8 号机座电动机（卧式，机座带有底脚，端盖有凸缘）外形及安装尺寸图

表 1-7　Z2 系列 1～8 号机座电动机（卧式，机座带底脚，端盖有凸缘）外形及安装尺寸

机座号	安装尺寸/mm																	外形尺寸/mm				
	A	$A/2$	B	C_1 (C)	D	E	H	K	F	G	N	R	M	S	S 孔对公称位置偏差	h_3	凸缘孔数 n	P	b_1	b_2	h	L_1
11 12	145	72.5	155 175	80	16	40	112	$\phi12$	5	12.8	95	0	115	10	0.5	4	4	140	170	114	251	401 421
21 22	200	100	180 205	73	18	40	140	$\phi15$	5	14.8	130	0	165	12	0.7	4	4	200	199	152	320	417 (425) 442
31 32	225	112.5	225 260	70	22	50	150	$\phi15$	6	18.2	130	4	165	12	0.7	4	4	200	212	162	343	485 520
41 42	240	120	195 225	92	28	50	160	$\phi15$	8	23.5	230	11	265	15	0.7	5	4	300	245	181	365	524 554
51 52	264	132	225 265	95.5	32	80	180	$\phi19$	10	26.8	250	19.5	300	19	0.7	5	4	350	266	202	415	606 646
61 62	300	150	265 300	89	38	80	225	$\phi19$	12	32.8	300	17	350	19	0.7	5	4	400	294	230	488	636 671
71 72	410	205	315 355	91.5	42	110	250	$\phi24$	12	36.8	350	3.5	400	19	1.0	5	8	450	346	243	544	776 816
81 82	460	230	355 395	101.5	48	110	280	$\phi24$	14	42.2	400	3.5	450	19	1.0	5	8	500	381	272	609	862 902

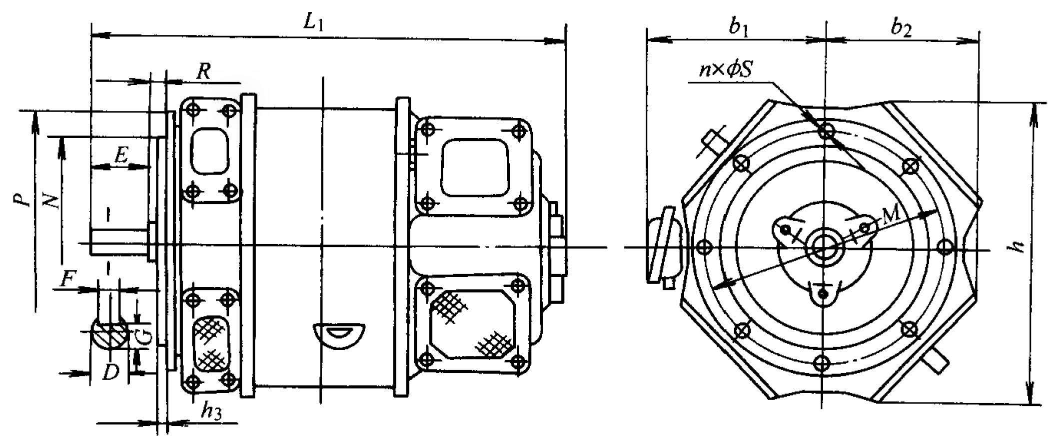


图 1-17　Z2 系列 1～8 号机座电动机（卧式，机座不带底脚，端盖有凸缘）外形及安装尺寸图

表 1-8　Z2 系列 1～8 号机座（卧式，机座不带底脚，端盖有凸缘）外形及安装尺寸

机座号	安装尺寸/mm											外形尺寸/mm				
	M	N	S	S 孔对公称位置偏差	D	E	F	G	R	h_3	凸缘孔数 n	P	b_1	b_2	h	L_1
11 12	115	95	10	0.5	16	40	5 4	12.8	0	4	4	140	170	114	205	401 421
21 22	165	130	12	0.7	18	40	5	14.8	0	4	4	200	199	152	265	417 442

（续）

机座号	安装尺寸/mm											外形尺寸/mm				
	M	N	S	S孔对公称位置偏差	D	E	F	G	R	h_3	凸缘孔数 n	P	b_1	b_2	h	L_1
31 32	165	130	12	0.7	22	50	6	18.2	4	4	4	200	212	162	290	485 520
41 42	265	230	15	0.7	28	60	8	23.5	11	5	4	300	245	181	320	524 554
51 52	330	250	19	0.7	32	80	10	26.8	19.5	5	4	350	268	202	363	606 646
61 62	350	300	19	0.7	38	80	12	32.8	17	5	4	400	294	230	420	636 671
(71) (72)	(400)	(350)	(18)		(42)	(110)	(12)	(36.8)			(4)	(470)	(355)	(240)	(535)	(845) (885)
(81) (82)	(465)	(400)	(18)		(48)	(110)	(14)	(42.2)			(4)	(530)	(380)	(270)	(605)	(910) (945)

注：带括号为上海南洋电机厂数据。

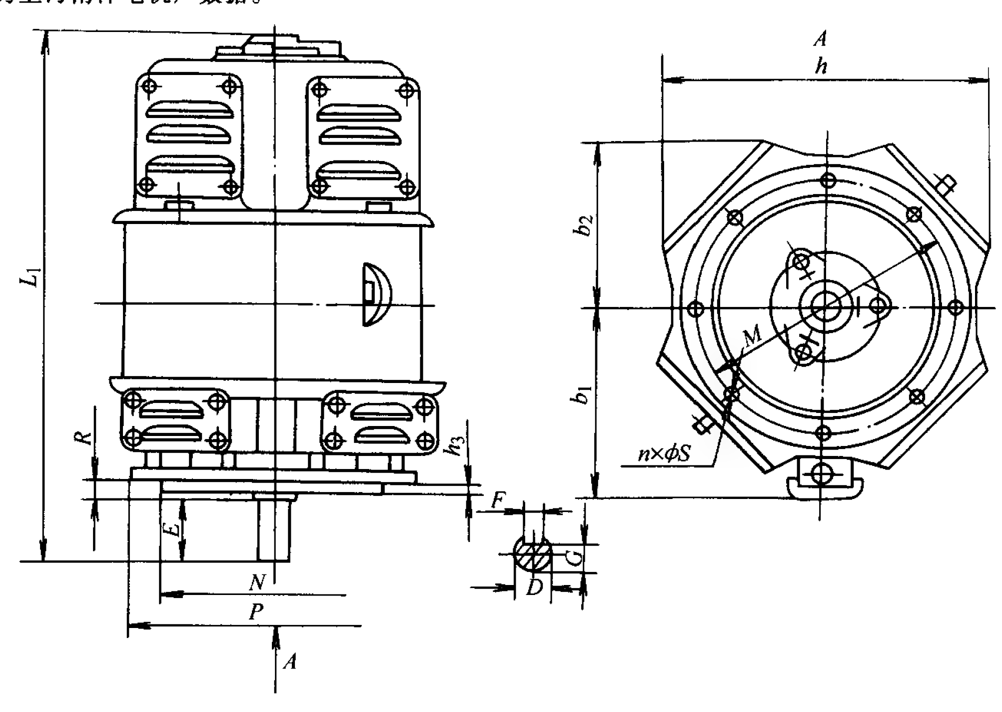


图 1-18　Z2 系列 1～8 号机座电动机（立式，机座带有底脚，端盖有凸缘）外形及安装尺寸图

表 1-9　Z2 系列 1～8 号机座（立式，机座带底脚，端盖有凸缘）外形及安装尺寸

机座号	安装尺寸/mm																	外形尺寸/mm				
	M	N	S	S孔对公称位置偏差	A	$A/2$	B	C_1 (c)	D	E	H	R	F	G (g)	K	h_3	凸缘孔数 n	P	b_1	b_2	h	L_1
11 12	115	95	10	0.5	145	72.5	155 175	80	16	40	112	0	5	12.8	ϕ12	4	4	140	170	114	254	401 421
21 22	165	130	12	0.7	200	100	180 205	73	18	40	140	0	5	14.8	ϕ15	4	4	200	199	152	320	417 642

（续）

机座号	安装尺寸/mm																	外形尺寸/mm				
	M	N	S	S孔对公称位置偏差	A	$A/2$	B	C_1（c）	D	E	H	R	F	G（g）	K	h_3	凸缘孔数 n	P	b_1	b_2	h	L_1
31 32	165	130	12	0.7	225	112.5	225 260	70	22	50	150	4	6	18.2	ϕ15	4	4	200	212	162	343	489 520
41 42	265	230	15	0.7	240	120	195 225	92	28	60	160	11	8	23.5	ϕ15	5	4	300	245	181	365	524 554
51 52	300	250	19	0.7	264	132	225 265	955	32	80	180	19.5	10	26.8	ϕ19	5	4	350	266	202	415	606 646
61 62	350	300	19	0.7	300	150	265 300	89	38	80	225	17	12	32.8	ϕ19	5	4	400	294	230	488	636 671
71 72	400	350	19	1.0	410	205	315 355	915	42	110	250	3.5	12	36.8	ϕ24	5	8	450	346	243	544	776 816
81 82	450	400	19	1.0	460	330	355 395	101.5	48	110	280	3.5	14	42.2	ϕ24	5	8	500	381	272	609	862 902

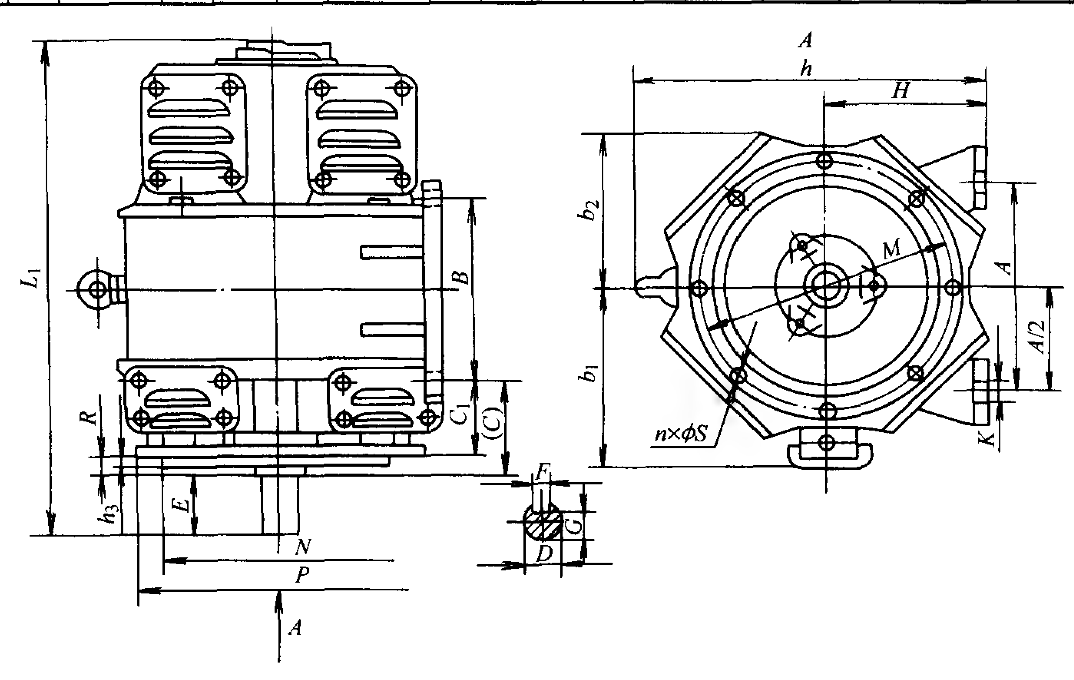


图 1-19　Z2 系列 1～11 号机座（立式，机座不带底脚，端盖有凸缘）外形尺寸图

表 1-10　Z2 系列 1～11 号机座（立式，机座不带底脚，端盖有凸缘）**外形及安装尺寸**

机座号	安装尺寸/mm											外形尺寸/mm				
	M	N	S	S孔对公称位置偏差	D	E	F	G	R	h_3	凸缘孔数 n	P	b_1	b_2	h	L_1
11 12	115	95	10	0.5	16	40	5	12.8	0	4	4	140	170	114	205	401 421
21 22	165	130	12	0.7	18	40	5	14.8	0	4	4	200	199	152	265	417 442

（续）

机座号	安装尺寸/mm											外形尺寸/mm				
	M	N	S	S孔对公称位置偏差	D	E	F	G	R	h_3	凸缘孔数 n	P	b_1	b_2	h	L_1
31 32	165	130	12	0.7	22	50	6	18.2	4	4	4	200	212	162	290	485 520
41 42	265	230	15	0.7	28	60	8	23.5	11	5	4	300	245	181	320	524 554
51 52	300	250	19	0.7	32	80	10	26.8	19.5	5	4	350	266	202	363	606 646
61 62	350	300	19	0.7	38	80	12	32.8	17	5	4	400	294	230	420	636 671
71 72	400	350	19	1.0	42	110	12	36.8	3.5	5	8	450	346	243	474	776 816
81 82	450	400	19	1.0	48	110	14	42.2	3.5	5	8	500	381	272	534	862 902
91 92	740	680	24	1.0	65	140	18	57.9	4	6	8	800	464	410	810	1014 1069
101 102	740	680	24	1.0	75	140	20	67.2	6	6	8	800	494	410	810	1175 1225
111 112	830	770	28	1.25	90	170	24	81	6.5	6	8	890	526	455	900	1271 1321

第三节　Z3系列直流电动机

Z3系列直流电动机设计的额定电压有110V、160V、220V、440V 4种；定子绕组采用铝线、串励绕组从实际出发采用铜线，对于出口及湿热带电动机设计为铜铝通用；功率和安装尺寸与国际电工委员会IEC的标准一致；与Z2系列电机有继承性；但比Z2系列转动惯量小、调速范围广、体积小、重量轻，可用于晶闸管供电。

一、结构特点

电机的防护型式为垂直防滴式。基本结构的通风方式为自带风扇的轴向通风式。但8～10号机座电动机还有外通风式。1～7号机座采用钢板焊接结构，8～10号机座为铸钢浇铸的圆筒焊接底脚结构。考虑晶闸管供电、换向极采用叠片式（11～31号机座除外），框架和垫片均采用开口形式。主极采用偏心气隙。

电枢铁心全部采用斜槽口，电枢铁心为梨形槽的线圈，采用槽楔固定；矩形槽的线圈除用环氧玻璃层压板压紧外，采用无纬玻璃丝带绑扎。电枢端部也采用无纬玻璃丝带绑扎。

1～7号机座的电枢线圈绕制成散嵌线圈，8～10号机座电枢线圈为矩形架空线圈。

换向器直径在150mm及以下者为塑料换向器，直径为ϕ180mm及以上者采用金属拱式结构。

转轴采用45号热轧圆钢。1～7号机座可用联轴器正齿轮及三角带传动；8～10号机座只允许用联轴器和正齿轮传动。

1～7号机座采用铸铝风扇，8～10号机座采用薄

钢板冲铆结构风扇。风扇均为离心式。

二、绝 缘 性 能

导线采用 B 级绝缘等级，聚酯漆包扁线，绝缘采用聚酯纤维纸和聚酯薄膜复合材料（DMD）。绝缘漆采用无溶剂漆。

三、技 术 数 据

附表 1-2 给出 Z3 系列直流电动机技术数据。

四、Z3 系列直流电动机轴承型号

1～5号机座为带防尘的滚珠轴承；6～10号机座非传动端为一般滚珠轴承；7～10号机座的传动端为滚柱轴承。立式电机传动端为滚珠轴承，非传动端为止推滚珠轴承。各机座用轴承型号见表 1-11。

表 1-11　Z3 系列电动机各机座轴承型号

机座号	卧式		立式	
	传动端	换向器端	传动端	换向器端
1	60302	60302	60302	60302
2	60303	60303	60303	60303
3	60305	60305	60305	60305
4	60308	60307	60307	60307
5	60309	60308	60308	60308
6	309	309	309	309
7	2310	310	310	46310
8	2312	312	313	46312
9	2314	314	314	46314
10	2317	317	317	46317

五、技术经济及性能指标

1. 技术经济指标比较

以 Z3、Z2 系列的 1500r/min、0.37（0.4）～200kW，220V 的 22 个规格比较：

（1）用铜量　Z3 比 Z2 电枢用铜量平均减少 18.75%。

（2）电枢用硅钢片量　Z3 比 Z2 平均省 14.97%。

（3）转动惯量（J）　Z3 比 Z2 平均降低 36%。

（4）总重　Z3 比 Z2 总重平均减轻 10.4%。

2. 技术性能指标

1）效率与 Z2 系列相当。

2）温升　按 B 级绝缘的温升限度为 80K，留有一定裕度。

3）换向性能合格。

4）调速性能　由于采用主极偏心气隙（即主极非均匀气隙），调速性能提高。

六、安装及外形尺寸

图 1-20 和表 1-12 为 Z3 系列 1～10 号机座、卧式、机座带底脚的安装及外形及安装尺寸图。图 1-21 和表 1-13 为 Z3 系列 1～7 号机座、卧式、立式、机座不带底脚，端盖有凸缘的外形及安装尺寸图。图 1-22 表 1-14 为 Z3 系列 8～10 号机座、立式、机座不带底脚，端盖有凸缘的外形及安装尺寸图。图 1-23 表 1-15 为 Z3 系列 1～7 号机座、卧式、立式、机座带底脚，端盖有凸缘的外形及安装尺寸图。

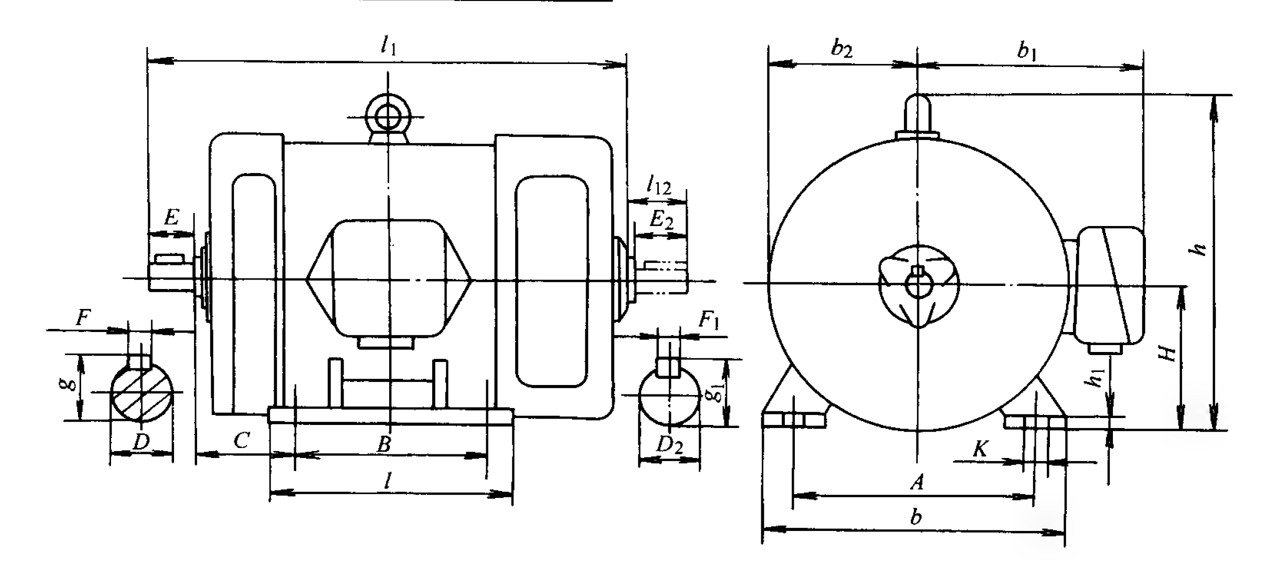


图 1-20　Z3 系列 1～10 号机座、卧式、机座带底脚的外形及安装尺寸图

表 1-12　Z3 系列 1 ~ 10 号机座、卧式、机座带底脚的外形及安装尺寸

机座号	外形及安装尺寸/mm																
	A	B	C	D (D_2)	E (E_2)	F (F_1)	g (g_1)	H	K	h_1	b	l	b_1	b_2	h	l_1	l_{12}
11 12	160	112 140	63	14	30	5	16	100	ϕ12	8	200	142 170	150	100	225	320 360	38
21 22	190	140 159	70	16	40	5	18	112	ϕ12	10	235	180 199	170	115	255	380 400	49
31 32 33	216	140 178 203	89	22	50	6	24.5	132	ϕ12	12	266	185 223 248	190	135	305	455 490 515	57
41 42	254	178 210	108	28	60	8	31	160	ϕ15	12	309	223 255	215	155	360	520 550	66
51 52	279	203 241	121	32	80	10	35	180	ϕ15	15	339	253 291	230	170	395	520 620	86
61 62	318	267 305	133	38	80	10	41	200	ϕ19	18	380	330 368	295	200	455	605 705	87
71 72 73	356	286 311 356	149	48	110	14	41.5	225	ϕ19	20	430	350 375 420	325	225	520	790 815 860	1215
81 82 83	457	368 419 457	190	55	110	16	59	280	ϕ24	35	555	440 490 530	410	280	635	985 1040 1075	117
91 92	508	406 457	216	65	140	18	69	315	ϕ28	40	650	470 520	445	320	730	1150 1200	148
101 102	610	500 560	254	80	170	22	85	355	ϕ28	40	740	560 620	485	365	835	1360 1420	177

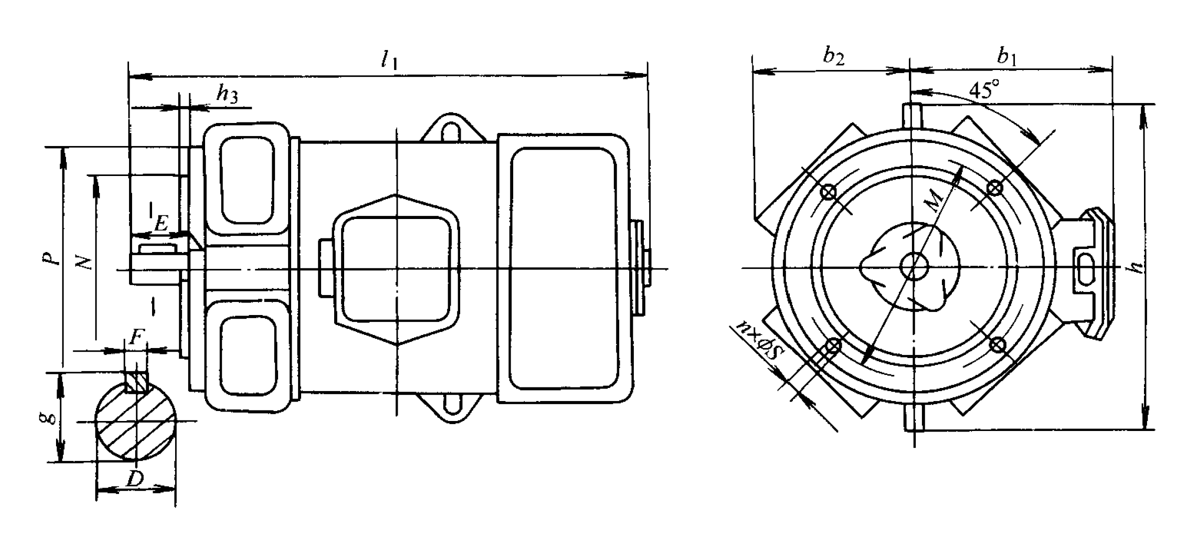


图 1-21　Z3 系列 1 ~ 7 号机座、卧式、立式、机座不带底脚、端盖有凸缘的外形及安装尺寸图

表 1-13　Z3 系列 1～7 号机座卧式、立式、机座不带底脚、端盖有凸缘的外形及安装尺寸

机座号	外形及安装尺寸/mm													
	M	N	S	n	h_3	D	E	F	g	P	b_1	b_2	h	L_1
11 12	100	80	M6	4	3.5	14	30	5	16	120	150	100	220	320 360
22 22	115	95	M8	4	3.5	16	40	5	18	140	170	115	250	380 400
31 32 33	130	110	M8	4	4.5	22	50	6	24.5	160	190	135	300	455 490 515
41 42	215	180	15	4	4	28	60	8	31	250	215	150	360	520 550
51 52	265	230	15	4	4	32	80	10	41	300	230	170	395	580 620
61 62	300	250	19	4	5	38	80	10	41	350	295	195	455	665 705
71 72 73	350	300	19	4	5	48	110	14	41.5	400	325	220	520	790 815 860

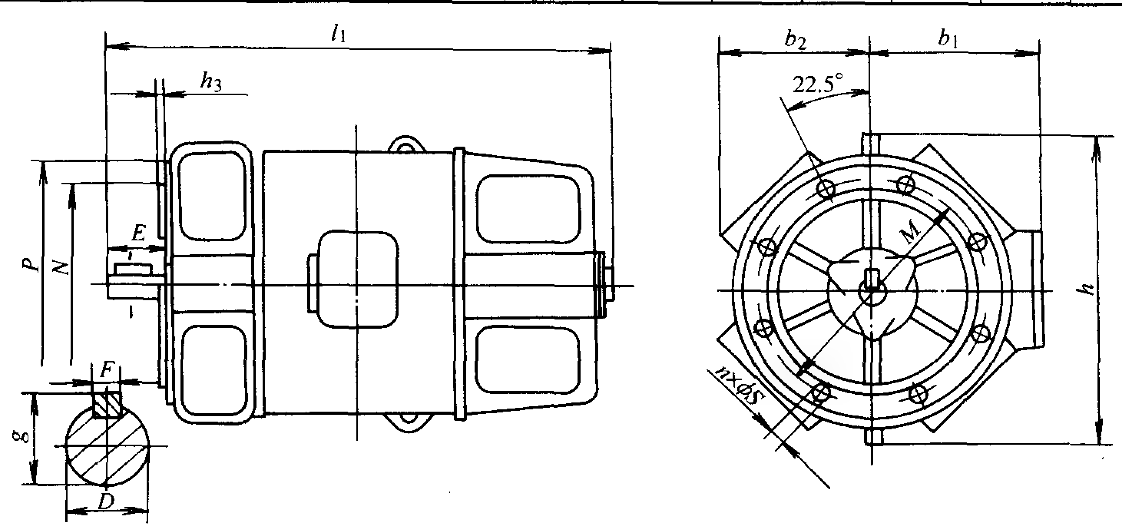


图 1-22　Z3 系列 8～10 号机座、立式、机座不带底脚、端盖有凸缘的外形及安装尺寸图

表 1-14　Z3 系列 8～10 号机座立式、机座不带底脚、端盖有凸缘的外形及安装尺寸

机座号	外形及安装尺寸/mm													
	M	N	S	n	h_3	D	E	F	g	P	b_1	b_2	h	l_1
81 82 83	400	350	19	8	5	55	110	16	59	450	410	275	660	985 1040 1075
91 92	500	450	19	8	5	65	140	18	69	550	445	310	740	1150 1200
101 102	600	550	24	8	6	80	170	23	85	660	485	350	865	1360 1420

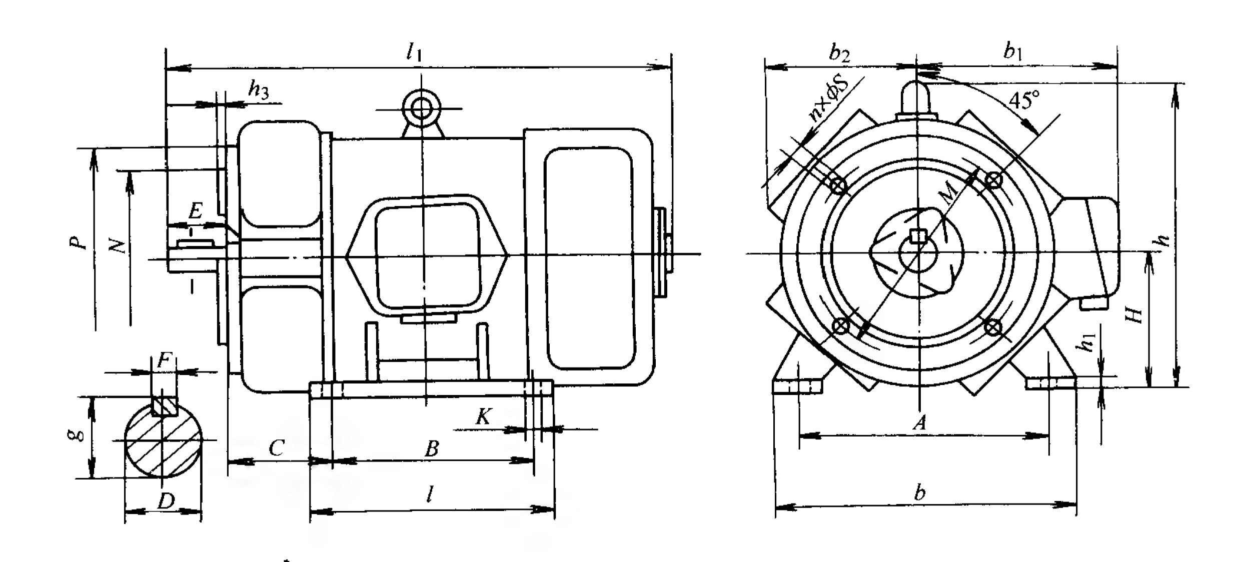


图 1-23　Z3 系列 1 ~ 7 号机座、卧式、立式、机座带底脚、端盖有凸缘的外形及安装尺寸图

表 1-15　Z3 系列 1 ~ 7 号机座、卧式、立式、机座带底脚、端盖有凸缘的外形及安装尺寸

机座号	外形及安装尺寸/mm																				
	A	B	C	D	E	F	g	H	K	M	N	S	n	h_3	h_1	b	l	P	b_1	b_2	h	l_1
11 12	160	112 140	63	14	30	5	16	100	ϕ12	100	80	M6	4	3.5	8	200	142 170	120	150	100	225	320 360
21 22	190	140 159	70	16	40	5	18	112	ϕ12	115	95	M8	4	3.5	10	235	180 199	140	170	115	255	380 400
31 32 33	216	140 178 203	89	22	50	6	24.5	132	ϕ12	130	110	M8	4	4.5	12	266	185 223 248	160	190	135	305	455 490 515
41 42	254	178 210	108	28	60	8	31	160	ϕ15	215	180	15	4	4	12	200	223 255	250	215	350	360	520 550
51 52	229	203 241	121	32	80	10	35	180	ϕ15	265	230	15	4	4	15	235	253 291	300	230	170	395	580 620
61 62	318	267 305	133	38	80	10	41	200	ϕ19	300	250	19	4	5	18	266	330 368	350	295	195	455	665 705
71 72 73	356	286 311 356	149	48	110	14	41.5	225	ϕ19	350	300	19	4	5	20	309	350 375 420	400	325	220	520	790 815 860

注：本系列产品轴伸尺寸为老标准，新标准为 GB756—79。

第四节　Z4 系列直流电动机

Z4 系列电动机为小型直流电动机的第 4 代产品，可以代替经济指标和可靠性较差的 Z2 和 Z3 系列产品。广泛用于各类企业要求调速高的自动化传动系统中，如轻工机械、纺织、印刷、水泥、冶金、造纸等

机械设备。

一、结 构 特 点

铁心导磁材料采用 DR510-50 硅钢板和 B3 薄钢板，并采用多角形结构，空间利用率较高，定子磁轭为叠片式，适用于静止整流电源供电，由三相桥式全控整流电源供电时，可不带平波电抗器工作。

Z4 系列电动机有卧式结构 IMB3、IMB5、JMB35 以及立式结构 IMV1、IMV15 等。

电动机的主要零部件，如端盖、转轴等的一阶振动频率高于电动机的工作转速，避免电机运转时产生共振。

电枢经过精密的动平衡试验；电枢铁心为斜槽；补偿绕组的槽楔采用磁性槽楔等措施，使 Z4 系列电动机噪声达到国家标准 GB755—1981 的要求。振动限值达到国际电工委员会批准 IEC34—14 的要求。

二、绝 缘 性 能

绝缘等级为 F 级。主要绝缘材料采用聚酰氨纤维纸（Nomex410）或聚酯聚芳酰氨混纱纸与聚酯薄膜复合纸。

导线采用 H 级改性聚酯亚胺漆包线 QZY-2。采用滴浸工艺。矩形导线的电枢采用真空浸漆处理。

换向极绕组装配时，采用聚酯毡包在铁心上，使绕组线圈与铁心固化成一体。

电枢绕组采用叠绕组，换向困难的电机采用槽式绕组。最大换向片间电压为 33V。

三、电机基本参数

电机的标准额定电压为 160V 和 440V；励磁电压为 180V，与我国的交流电网相匹配，省去了整流变压器。

电机过载能力，在额定转速时可承受历时 15s、1.6 倍额定转矩；弱磁调速范围内，允许有一定的过载能力。

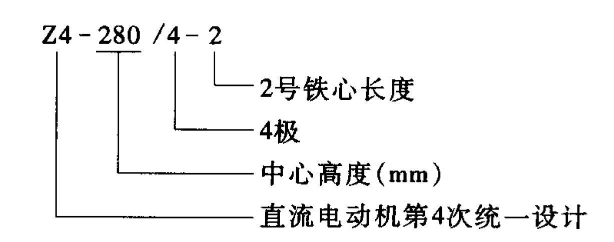
调速方式有调磁调速和调压调速两种。

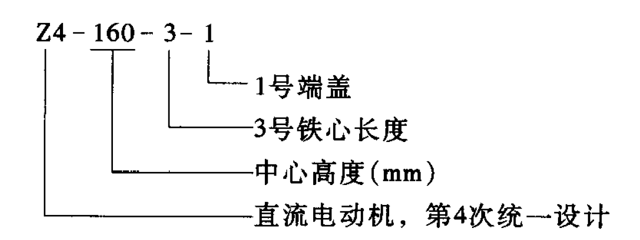
电动机额定转速有 3000、1500、1000、750、600、500、400r/min 共七挡。

电动机容量从 1.5 ~450kW，共 28 个等级。

整台电动机冷却方式为他冷。强迫通风。

四、型 号 含 义





五、额定电压与变流器型式及交流侧电压的对应关系

电动机额定电压与变流器型式及交流侧电压的对应关系见表 1-16。

表 1-16 额定电压与变流器型式及交流侧电压的对应关系

电动机额定电压	变流器型式	交流侧电压
160V	单相桥式整流器	220V
440V	三相全控桥式整流器	380V

六、机座号与功率转速对应关系

Z4 系列电动机的机座号与功率、转速的对应关系见表 1-17 和表 1-18。

表 1-17 Z4 电动机机座号与功率和转速对应关系

机座号	额定电压（160V）					
	功率/kW	额定转速/（r/min）	最高转速/（r/min）	功率/kW	额定转速/（r/min）	最高转速/（r/min）
100-1	2.2	1490	3000	1.5	955	2000
112/2-1	3	1540		2.2	975	
112/2-2	4	1450		3	1070	
112/4-1	5.5	1520		4	990	
112/4-2				5.5	1090	

表 1-18　Z4 电动机机座号与功率和转速对应关系

机座号	额定电压（440V）								
	功率/kW	额定转速/（r/min）	最高转速/（r/min）	功率/kW	额定转速/（r/min）	最高转速/（r/min）	功率/kW	额定转速/（r/min）	最高转速/（r/min）
100-1	4	2960	4000	2.2	1480	3000	1.5	990	2000
112/2-1	5.5	2940	4000	3	1500	3000	2.2	965	2000
112/2-2	7.5	2980	4000	4	1500	3000	3	1010	2000
112/4-1	11	2950	4000	5.5	1480	2200	4	980	1400
112/4-2	15	3035	4000	7.5	1480	2200	5.5	1025	1500
132-1	18.5	2850	4000	11	1480	2500	7.5	975	1600
132-2	22	3090	3600	15	1510	2500	11	995	1600
132-3	30	3000	3600	18.5	1540	3000	15	1050	1600
160-11	37	3000	3500	22	1500	3000			
160-21							18.5	1000	2000
160-22	45	3000	3500						
160-31				30	1500	3000	22	1000	2000
160-32	55	3010	3500						

机座号	额定电压（440V）													
	3000r/min		1500r/min		1000r/min		750r/min		600r/min		500r/min		400r/min	
	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速
180-11			37	3000			18.5	1900	15	2000				
180-21			45	2800	30	2000	22	1400	18.5	1600				
180-22	75	3400												
180-31					37	2000			22	1250				
180-41			55	3000			30	2250						
180-42	90	3200												
200-11					45	2000	37	2000			22	1350		
200-12	110	3000												
200-21			75	3000					30	1000				
200-31			90	2800	55	2000	45	1400	37	1600	30	750		
200-32	132	3200												
225-11			110	3000	75	2000	55	1600	45	1800	37	1600		
225-21									55	1200	45	1400		

（续）

机座号	额定电压（440V）													
	3000r/min		1500r/min		1000r/min		750r/min		600r/min		500r/min		400r/min	
	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速	功率/kW	最高转速
225-31			132	2400	90	2000	75	2250						
250-11					110	2000								
250-12			160	2100										
250-21			185	2200			90	2250	75	2000	55	1000		
250-31			200	2400	132	2000	110	1900						
250-41			220	2400					90	2000	75	1900		
250-42					160	2000								
280-11			250	2000										
280-21					200	2000	132	1600	110	1500				
280-22			280	1800										
280-31					220	2000			132	1200	90	1800		
280-32			315	1800			160	1700						
280-41							185	1900			110	1200		
280-42			355	1800	250	180								
315-11									160	1900	132	1600	110	1200
315-12					280	1600	200	1900						
315-21									185	1600	160	1500		
315-22					315	1600	250	1600						
315-31													132	1200
315-32					355	1600	280	1600	200	1500				
315-41											185	1500	160	1200
315-42					400	1600	315	1600	250	1600				
355-11									280	1600	200	1500	185	1200
355-12					450	1500	355	1500						
355-21													200	1200
355-22							400	1600	315	1500	250	1600		
355-31													220	1200
355-32							450	1500	355	1600	315	1500		
355-42									400	1600	355	1600	250	1200

七、主要技术数据

附表 1-3 是 Z4 系列直流电动机主要技术数据（中心高 100～112mm，励磁电压 180V）。

附表 1-4 是 Z4 系列直流电动机主要技术数据（中心高 132～355mm 励磁电压 180V）。

八、Z4 系列安装及外形尺寸

图 1-24 为 Z4 系列电动机（卧式、机座带底脚）的安装及外形尺寸图。

表 1-19 为 Z4 系列电动机（卧式、机座带底脚）的安装及外形尺寸。图 1-25 为 Z4 系列电动机（卧

式、机座带底脚、端盖带凸缘）的安装及外形尺寸图。表 1-20 为 Z4 系列电动机（卧式、机座带底脚、端盖带凸缘）的安装及外形尺寸图。

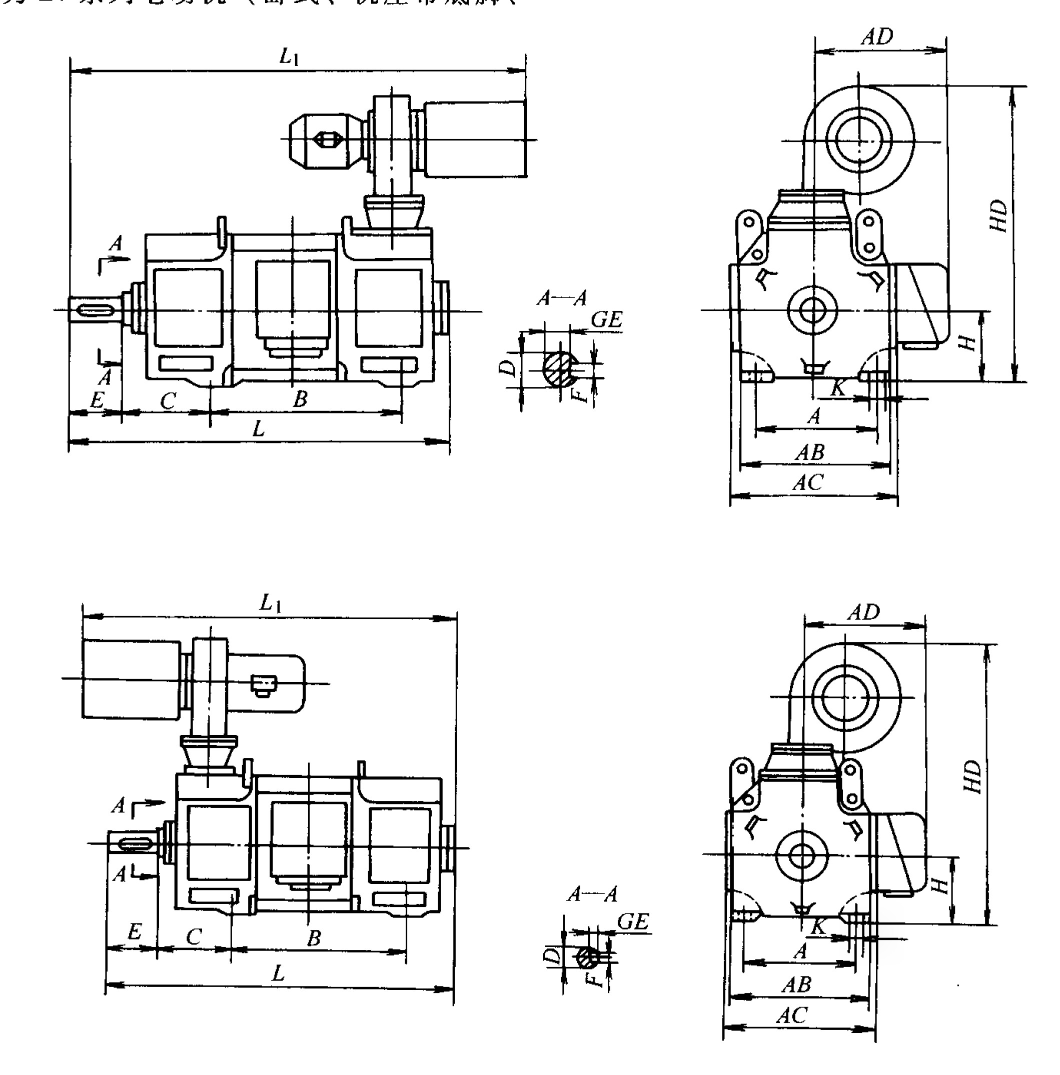


图 1-24　Z4 系列电动机（卧式、机座带底脚）安装及外形尺寸图

表 1-19　Z4 系列电动机（卧式、机座带底脚）安装及外形尺寸

型号	安装尺寸/mm									外形尺寸/mm					
	A	B	C	D	E	F	GE	H	K	AB	AC	AD	HD	L	L_1
Z4-100-1	160	318	63	24	50	8	4	100	12	197	234	179	398	500	580
Z4-112/2-1	190	337	70	23	60	8	4	112	12	221	255	202	452	544	612
Z4-112/2-2		367												574	642
Z4-112/4-1	216	347	70	32	80	10	5	112	12	221	255	202	452	573	642
Z4-112/4-2		387												613	682
Z4-132-1		355	89	38	80	10	5	132	12	260	295	240	527	619	814
Z4-132-2	254	405												669	834
Z4-132-3		465												729	924
Z4-160-11		411	108	48	110	14	5.5	160	15	315	346	283	625	744	953
Z4-160-12		476												809	983
Z4-160-21		451												784	993
Z4-160-22		516												849	1026

（续）

型号	安装尺寸/mm									外形尺寸/mm					
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*GE*	*H*	*K*	*AB*	*AC*	*AD*	*HD*	*L*	L_1
Z4-160-31	279	501	108	48	110	14	5.5	160	15	316	346	283	625	834	1043
Z4-160-32		566												899	1076
Z4-180-11		436	121	55	110	16	6	130	15	356	390	305	731	794	1022
Z4-180-12		501												859	1087
Z4-180-21		476												834	1032
Z4-180-22		541												899	1127
Z4-180-31		523												884	1112
Z4-180-32		591												949	1177
Z4-180-41	318	586												944	1172
Z4-180-42		651												1009	1287
Z4-200-11		566	133	65	140	18	7	200	19	396	430	355	779	977	1158
Z4-200-12		614												1025	1206
Z4-200-21		606												1017	1198
Z4-200-22		654												1065	1246
Z4-200-31		686												1097	1278
Z4-200-32		734												1145	1326
Z4-225-11	356	701	149	75	140	20	7.5	225	19	440	474	308	981	1140	1605
Z4-225-12		761												1200	1665
Z4-225-21		751												1190	1655
Z4-225-22		811												1250	1715
Z4-225-31		811												1250	1715
Z4-225-32		871												1310	1775
Z4-250-11	406	715	168	85	170	22	9	250	24	490	524	432	1031	1225	1657
Z4-250-12		775												1285	1717
Z4-250-21		765												1275	1707
Z4-250-22		825												1335	1767
Z4-250-31		825												1335	1767
Z4-250-32		885												1395	1827
Z4-250-41		895												1405	1837
Z4-250-42		955												1465	1897
Z4-280-11	457	762	190	95	170	25	9	280	24	550	584	462	1130	1315	1748
Z4-280-12		852												1405	1838
Z4-280-21		822												1375	1806
Z4-280-22		912												1465	1898
Z4-280-31		892												1455	1878
Z4-280-32		982												1585	1968

（续）

型号	安装尺寸/mm									外形尺寸/mm					
	A	B	C	D	E	F	GE	H	K	AB	AC	AD	HD	L	L_1
Z4-280-41	457	972	190	95	170	25	9	280	24	550	584	462	1130	1525	1958
Z4-280-42		1062												1615	2048
Z4-315-11	508	887	216	100	210	28	10	315	28	620	654	497	1221	1532	1897
Z4-315-12		977												1622	1987
Z4-315-21		967												1612	1977
Z4-315-22		1057												1702	2067
Z4-315-31		1057												1702	2067
Z4-315-32		1147												1972	2157
Z4-315-41		1157												1802	2167
Z4-315-42		1247												1892	2257
Z4-355-11	610	968	254	110	210	28	10	355	28	700	734	701	1301	1689	2110
Z4-355-12		1058												1779	2100
Z4-355-21		1058												1779	2100
Z4-355-22		1148												1869	2190
Z4-355-31		1158												1879	2200
Z4-355-32		1248												1969	2290
Z4-355-41		1268												1989	2310
Z4-355-42		1358												2079	2400

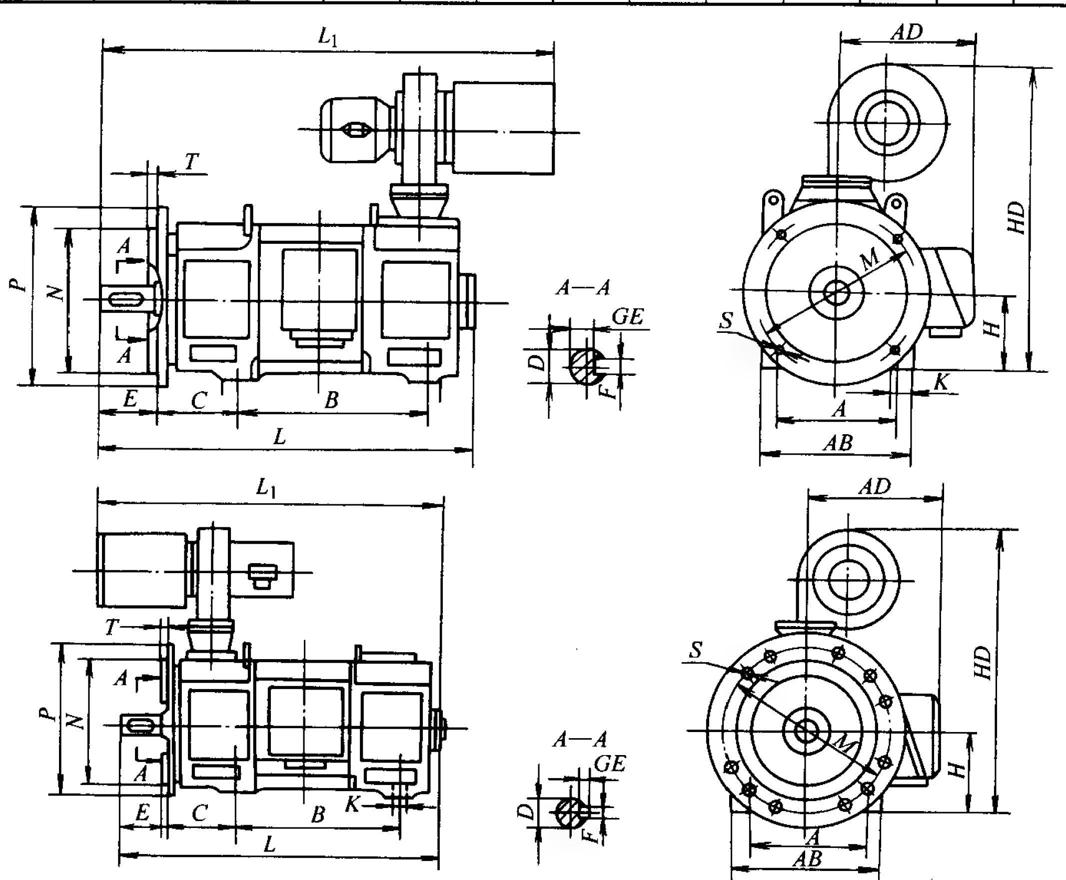


图 1-25　Z4 系列电动机（卧式、机座带底脚、端盖带凸缘）安装及外形尺寸图

表 1-20　Z4 系列电动机（卧式、机座带底脚、端盖带凸缘）安装及外形尺寸

<table>
<tr><th rowspan="2">型号</th><th colspan="13">安装尺寸/mm</th><th colspan="6">外形尺寸/mm</th></tr>
<tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th><th>GE</th><th>H</th><th>K</th><th>M</th><th>N</th><th>S</th><th>T</th><th>P</th><th>AB</th><th>AC</th><th>AD</th><th>HD</th><th>L</th><th>L_1</th></tr>
<tr><td>Z4-100-1</td><td>160</td><td>318</td><td>63</td><td>24</td><td>50</td><td>8</td><td>5.5</td><td>100</td><td>12</td><td>215</td><td>180</td><td>15</td><td>4</td><td>250</td><td>197</td><td>234</td><td>179</td><td>398</td><td>500</td><td>580</td></tr>
<tr><td>Z4-112/2-1</td><td rowspan="2">190</td><td>337</td><td rowspan="2">70</td><td rowspan="2">28</td><td rowspan="2">60</td><td rowspan="2">8</td><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">112</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">215</td><td rowspan="2">180</td><td rowspan="2">15</td><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">250</td><td rowspan="2">221</td><td rowspan="2">255</td><td rowspan="2">202</td><td rowspan="2">452</td><td>544</td><td>612</td></tr>
<tr><td>Z4-112/2-2</td><td>367</td><td>574</td><td>642</td></tr>
<tr><td>Z4-112/4-1</td><td rowspan="2">190</td><td>347</td><td rowspan="2">70</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2">10</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">112</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">215</td><td rowspan="2">180</td><td rowspan="2">15</td><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">250</td><td rowspan="2">221</td><td rowspan="2">255</td><td rowspan="2">202</td><td rowspan="2">452</td><td>573</td><td>642</td></tr>
<tr><td>Z4-112/4-2</td><td>387</td><td>613</td><td>682</td></tr>
<tr><td>Z4-132-1</td><td rowspan="3">216</td><td>355</td><td rowspan="3">89</td><td rowspan="3">38</td><td rowspan="3">80</td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">132</td><td rowspan="3">12</td><td rowspan="3">265</td><td rowspan="3">230</td><td rowspan="3">15</td><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">300</td><td rowspan="3">260</td><td rowspan="3">295</td><td rowspan="3">240</td><td rowspan="3">527</td><td>619</td><td>864</td></tr>
<tr><td>Z4-132-2</td><td>405</td><td>669</td><td>864</td></tr>
<tr><td>Z4-132-3</td><td>465</td><td>729</td><td>924</td></tr>
<tr><td>Z4-160-11</td><td rowspan="6">254</td><td>411</td><td rowspan="6">108</td><td rowspan="6">48</td><td rowspan="6">110</td><td rowspan="6">14</td><td rowspan="6">5.5</td><td rowspan="6">160</td><td rowspan="6">15</td><td rowspan="6">300</td><td rowspan="6">250</td><td rowspan="6">19</td><td rowspan="6">5</td><td rowspan="6">350</td><td rowspan="6">316</td><td rowspan="6">346</td><td rowspan="6">283</td><td rowspan="6">625</td><td>744</td><td>953</td></tr>
<tr><td>Z4-160-12</td><td>476</td><td>809</td><td>986</td></tr>
<tr><td>Z4-160-21</td><td>451</td><td>784</td><td>993</td></tr>
<tr><td>Z4-160-22</td><td>516</td><td>849</td><td>1026</td></tr>
<tr><td>Z4-160-31</td><td>501</td><td>834</td><td>1043</td></tr>
<tr><td>Z4-160-32</td><td>566</td><td>899</td><td>1076</td></tr>
<tr><td>Z4-180-11</td><td rowspan="8">279</td><td>436</td><td rowspan="8">121</td><td rowspan="8">55</td><td rowspan="8">110</td><td rowspan="8">16</td><td rowspan="8">6</td><td rowspan="8">180</td><td rowspan="8">15</td><td rowspan="8">350</td><td rowspan="8">300</td><td rowspan="8">19</td><td rowspan="8">5</td><td rowspan="8">400</td><td rowspan="8">356</td><td rowspan="8">390</td><td rowspan="8">305</td><td rowspan="8">731</td><td>792</td><td>1022</td></tr>
<tr><td>Z4-180-12</td><td>501</td><td>859</td><td>1087</td></tr>
<tr><td>Z4-180-21</td><td>476</td><td>834</td><td>1062</td></tr>
<tr><td>Z4-180-22</td><td>541</td><td>899</td><td>1127</td></tr>
<tr><td>Z4-180-31</td><td>526</td><td>884</td><td>1112</td></tr>
<tr><td>Z4-180-32</td><td>591</td><td>949</td><td>1177</td></tr>
<tr><td>Z4-180-41</td><td>586</td><td>944</td><td>1172</td></tr>
<tr><td>Z4-180-42</td><td>651</td><td>1009</td><td>1237</td></tr>
<tr><td>Z4-200-1</td><td rowspan="6">318</td><td>566</td><td rowspan="6">138</td><td rowspan="6">65</td><td rowspan="6">140</td><td rowspan="6">18</td><td rowspan="6">7</td><td rowspan="6">200</td><td rowspan="6">19</td><td rowspan="6">400</td><td rowspan="6">350</td><td rowspan="6">19</td><td rowspan="6">5</td><td rowspan="6">450</td><td rowspan="6">396</td><td rowspan="6">430</td><td rowspan="6">355</td><td rowspan="6">779</td><td>977</td><td>1158</td></tr>
<tr><td>Z4-200-12</td><td>614</td><td>1025</td><td>1206</td></tr>
<tr><td>Z4-200-21</td><td>606</td><td>1017</td><td>1198</td></tr>
<tr><td>Z4-200-22</td><td>654</td><td>1065</td><td>1246</td></tr>
<tr><td>Z4-200-31</td><td>686</td><td>1098</td><td>1278</td></tr>
<tr><td>Z4-200-32</td><td>734</td><td>1145</td><td>1326</td></tr>
<tr><td>Z4-225-11</td><td rowspan="6">356</td><td>701</td><td rowspan="6">149</td><td rowspan="6">75</td><td rowspan="6">140</td><td rowspan="6">20</td><td rowspan="6">7.5</td><td rowspan="6">225</td><td rowspan="6">19</td><td rowspan="6">500</td><td rowspan="6">450</td><td rowspan="6">19</td><td rowspan="6">5</td><td rowspan="6">550</td><td rowspan="6">440</td><td rowspan="6">474</td><td rowspan="6">398</td><td rowspan="6">981</td><td>1140</td><td>1605</td></tr>
<tr><td>Z4-225-12</td><td>761</td><td>1200</td><td>1665</td></tr>
<tr><td>Z4-225-21</td><td>751</td><td>1190</td><td>1655</td></tr>
<tr><td>Z4-225-22</td><td>811</td><td>1250</td><td>1715</td></tr>
<tr><td>Z4-225-31</td><td>811</td><td>1250</td><td>1715</td></tr>
<tr><td>Z4-225-32</td><td>871</td><td>1310</td><td>1775</td></tr>
<tr><td>Z4-250-11</td><td rowspan="2">406</td><td>715</td><td rowspan="2">168</td><td rowspan="2">85</td><td rowspan="2">170</td><td rowspan="2">22</td><td rowspan="2">9</td><td rowspan="2">250</td><td rowspan="2">24</td><td rowspan="2">600</td><td rowspan="2">550</td><td rowspan="2">24</td><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">660</td><td rowspan="2">490</td><td rowspan="2">524</td><td rowspan="2">432</td><td rowspan="2">1031</td><td>1225</td><td>1657</td></tr>
<tr><td>Z4-250-12</td><td>775</td><td>1285</td><td>1717</td></tr>
</table>

（续）

型号	安装尺寸/mm												外形尺寸/mm							
	A	B	C	D	E	F	GE	H	K	M	N	S	T	P	AB	AC	AD	HD	L	L_1
Z4-250-21	406	765	168	85	170	22	9	250	24	600	550	24	6	660	490	524	432	1031	1275	1707
Z4-250-22		825																	1335	1767
Z4-250-31		825																	1335	1767
Z4-250-32		885																	1395	1827
Z4-250-41		895																	1405	1837
Z4-250-42		955																	1465	1897
Z4-280-11	457	762	190	95	170	25	9	280	24	600	550	24	6	660	550	584	462	1130	1315	1748
Z4-280-12		852																	1405	1838
Z4-280-21		822																	1375	1808
Z4-280-22		912																	1465	1898
Z4-280-31		892																	1455	1878
Z4-280-32		982																	1535	1968
Z4-280-41		972																	1525	1958
Z4-280-42		1062																	1615	2048
Z4-315-11	508	887	216	100	210	28	10	315	28	740	680	24	6	800	620	654	497	1221	1512	1897
Z4-315-12		977																	1622	1987
Z4-315-21		967																	1612	1977
Z4-315-22		1057																	1702	2067
Z4-315-31		1057																	1702	2067
Z4-315-32		1147																	1792	2157
Z4-315-41		1157																	1802	2167
Z4-315-42		1247																	1892	2257

第五节　ZD2 系列中型直流电动机

一、概　　述

ZD2 系列中型直流电动机功率范围为 75 ~ 1000kW，电压范围为 220 ~ 660V，转速范围为 320 ~ 1500r/min，励磁方式均为他励，励磁电压有 110V 和 220V 两种，工作方式为连续式。电机分类见表 1-21。

ZD2 系列中型直流电动机可代替以前的 ZD 系列电动机，其功率等级、额定电压、额定转速及其他技术性能均与 ZD 系列相同，但体积、重量、转动惯量均较小，电机的中心高度也有所降低，所以在代替时，要考虑安装尺寸。

ZD2 系列直流电动机适于在没有酸性、碱性或对电机没有腐蚀的气体环境中使用。ZD2 型用于拖动轧

表 1-21　ZD2 系列中型直流电动机的分类

名　称	无补偿直流电动机	有补偿直流电动机
功率范围/kW	75 ~ 160	55 ~ 1000
额定电压/V	220	220，330，440，660
转速/（r/min）	低速 500 ~ 1000 高速 1200 ~ 1500	低速 320 ~ 500 高速 1000 ~ 1200
冷却方法	自扇冷及管道通风或自带鼓风机	自带鼓风机及管道通风

延机床或轧延机床的辅助机械，中大型金属切削机床以及挖土机、造纸机、煤矿竖井、高炉等设备上。

ZD2 系列电动机调速方法是采用弱磁场方法从基速向上进行恒功率调速；降低电源电压时，可从基速向下进行恒转矩调速。

对于 11 号机座若采用自带风扇冷却时，当降低转速时，要考虑通风效果变坏的问题，这时应该使转矩随转速的降低而相应降低。

二、安装及外形尺寸

表 1-22 是 ZD2 系列中型直流电动机（11-13 号机座）的安装及外形尺寸，图 1-26 是其安装及外形尺寸图。表 1-23 是 ZD2 系列中型直流电动机（15 号机座）的安装及外形尺寸，图 1-27 是其安装及外形尺寸图。表 1-24 是 ZD2 系列中型直流电动机（17 号机座）安装及外形尺寸，图 1-28 为其安装及外形尺寸图。

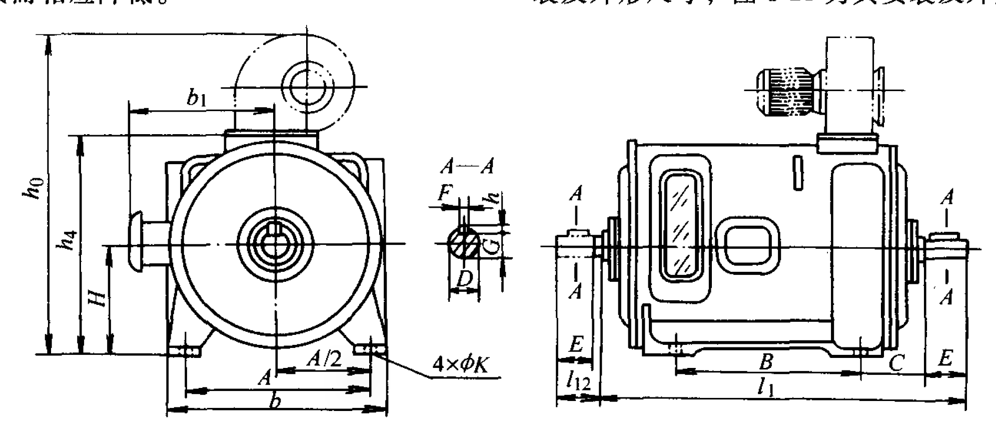


图 1-26 ZD2 系列中型直流电动机（11～13 号机座）安装及外形尺寸图

表 1-22 ZD2 系列中型直流电动机（11～13 号机座）安装及外形尺寸 (mm)

型号	A	$A/2$	B	H	K	C	E	D	F	h	G	l_1	l_{12}	b	b_1	h_4	h_0
ZD2-111-1（B）	660	330	795	400	36	250	170	80	24	14	71	1438	197	800	560	795	1350
ZD2-112-1（B）	660	330	855	400	36	250	170	80	24	14	71	1498	197	800	560	795	1350
ZD2-121-1（B）	800	400	750	450	36	260	170	95	28	16	84.7	1406	194	900	630	930	1610
ZD2-121-2（B）	800	400	900	450	36	260	170	95	28	16	84.7	1554	194	900	630	930	1610
ZD2-122-1（B）	800	400	810	450	36	260	170	95	28	16	84.7	1476	194	900	630	930	1610
ZD2-122-2（B）	800	400	960	450	36	260	170	95	28	16	84.7	1624	194	900	630	930	1610
ZD2-123-1（B）	800	400	885	450	36	260	170	95	28	16	84.7	1551	194	900	630	930	1610
ZD2-123-2（B）	800	400	1035	450	36	260	170	95	28	16	84.7	1699	194	900	630	930	1610
ZD2-131-1（B）	840	420	950	505	36	265	210	110	32	18	98.5	1666	234	1000	680	1000	1680
ZD2-131-2（B）	840	420	1100	500	36	265	210	110	32	18	98.5	1814	234	1000	680	1000	1680
ZD2-131-3（B）	840	420	1170	500	36	265	210	110	32	18	98.5	1888	234	1000	680	1000	1680
ZD2-132-1（B）	840	420	1030	500	36	265	210	110	32	18	98.5	1746	234	1000	680	1000	1680
ZD2-132-2（B）	840	420	1180	500	36	265	210	110	32	18	98.5	1894	234	1000	680	1000	1680
ZD2-132-3（B）	840	420	1250	500	36	265	210	110	32	18	98.5	1968	234	1000	680	1000	1680

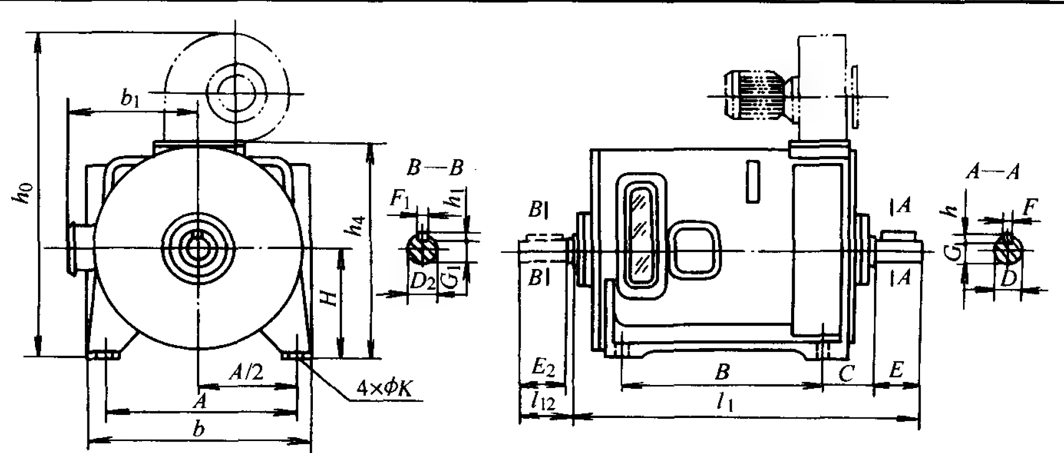


图 1-27 ZD2 系列中型直流电动机（15 号机座）安装及外形尺寸图

表 1-23　ZF2、ZD2 系列中型直流电动机（15 号机座）安装及外形尺寸　（mm）

型　号	A	A/2	B	H	K	C	E	D	F	G	h
ZD2-151-1B	1100	550	1045	630	36	290	250	150	40	136.5	22
ZD2-152-1B	1100	550	1120	630	36	290	250	150	40	136.5	22
ZD2-152-2B	1100	550	1205	630	36	290	250	150	40	136.5	22
ZD2-153-1B	1100	550	1205	630	36	290	250	150	40	136.5	22

型　号	E_2	D_2	F_1	G_1	h_1	l_1	l_{12}	b	b_1	h_4	h_0
ZD2-151-1B	210	120	32	108.5	18	1842	238	1260	790	1230	2050
ZD2-152-1B	210	120	32	108.5	18	1917	238	1260	790	1230	2050
ZD2-152-2B	210	120	32	108.5	18	2002	238	1260	790	1230	2050
ZD2-153-1B	210	120	32	108.5	18	2002	238	1260	790	1230	2050

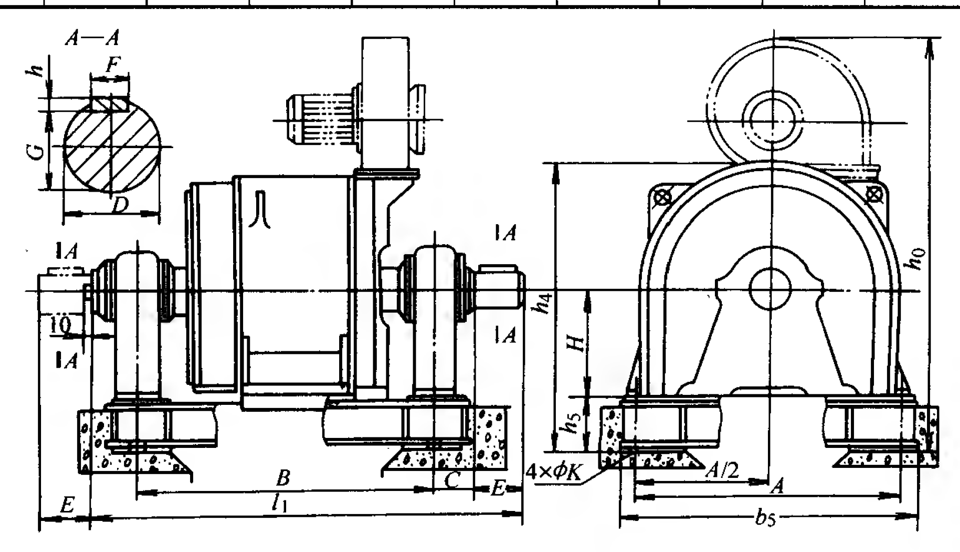


图 1-28　ZD2 系列中型直流电动机（17 号机座）安装及外形尺寸图

表 1-24　ZD2 系列中型直流电动机（17 号机座）安装及外形尺寸　（mm）

型　号	A	A/2	B	H	K	C	E	D	F	G	h	h_5	l_1	b_5	h_4	h_0
ZD2-171-1B	1540	770	1930	630	42	220	350	200	45	184.7	25	300	2730	1680	1660	2310
ZD2-172-1B	1540	770	1970	630	42	220	350	200	45	184.7	25	300	2730	1680	1660	2310
ZD2-173-1B	1540	770	2050	630	42	220	350	200	45	184.7	25	300	2850	1680	1660	2310
ZD2-174-1B	1540	770	2135	630	42	220	350	200	45	184.7	25	300	2935	1680	1660	2310

注：本系列轴伸尺寸为老标准 GB756—65，新标准为 GB756—79。

三、电 磁 数 据

附表 1-5 给出了 ZD2 型有补偿直流变速电动机铁心绕组技术数据（B 级、他励、连续定额）。

第六节　ZD3 系列中型直流电动机

一、结 构 特 点

本系列电动机的基本结构为卧式。防护型式有两种：开启式 IP23 和封闭式 IP44。冷式方式为强迫通风。

定子铁心采用优质硅钢片，定子机座采用叠片结

构，所以定子径向方向利用率高，使电机中心高度降低，从而达到体积小、重量轻、性能好、效率高等优点。由于机座采用叠片结构，所以可用于晶闸管电源供电。

电机绕组是采用真空压力无溶剂整浸工艺，使绕组粘结力强，形成坚固整体、弹性好、强度高、抗潮和抗化学腐蚀能力强。

二、性　　能

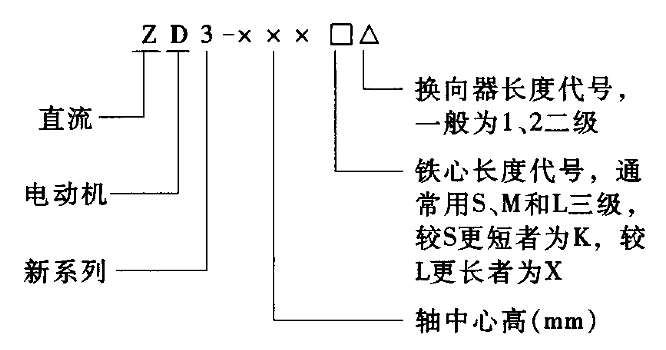
电动机在基速时允许过载 2.5 倍的额定电流，ZD3-315、ZD3-355 和 ZD3-400 高速时允许过载 1.6 倍额定电流，而 DZ3-450、ZD3-500 和 ZD3-560 于高速时允许过载 2 倍的额定电流。过电流时间 15s，每小时内允许过载 8 次。

该系列电动机为连续运行方式，其励磁方式为他励。励磁绕组有 4 个引线头，串联时，励磁电压为 220V，并联时，为 110V。

ZD3 系列中型直流电动机广泛应用于传动金属轧机、轧机的辅助设备以及金属切削机床、煤矿竖井、高炉、造纸机、挖掘机等设备

电动机外形安装尺寸、性能及技术要求均符合 IEC 国际标准；电动机各机械尺寸公差符合 ISO 国际标准。

三、型号含义



注：1. 本例电动机中心高为 315、355、400、450、500 和 560mm。

2. 如系派生产品，在其后加注 P，以资区别，同理如系湿热带产品、船用电机等则在其后，依次加注 TH、H、……等字样。

四、安装及外形尺寸

ZD3-355S 型电动机安装及外形尺寸图，如图 1-29 所示。ZD3-355XP 型电动机安装及外形尺寸图，如图 1-30 所示。ZD3-400L1 型电动机安装及外形尺寸图，如图 1-31 所示。ZD3-560SIP 型电动机安装及外形尺寸图，如图 1-32 所示。ZD3-500SIP 型电动机安装及外形尺寸图，如图 1-33 所示。

图 1-29　ZD3-355S 型 125kW 220V 500/1200r/min IC26 直流电动机安装及外形尺寸图

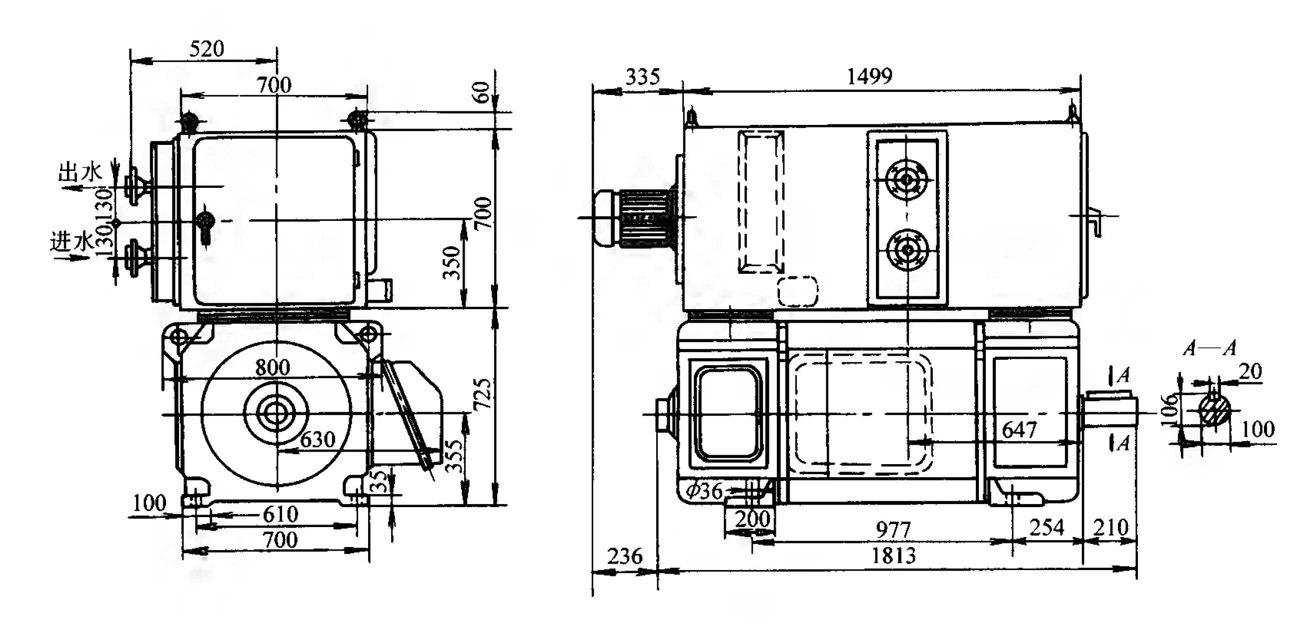


图 1-30　ZD3-355XP 型 320kW 400V 1000/1200r/min ICW37A86 直流电动机安装及外形尺寸图

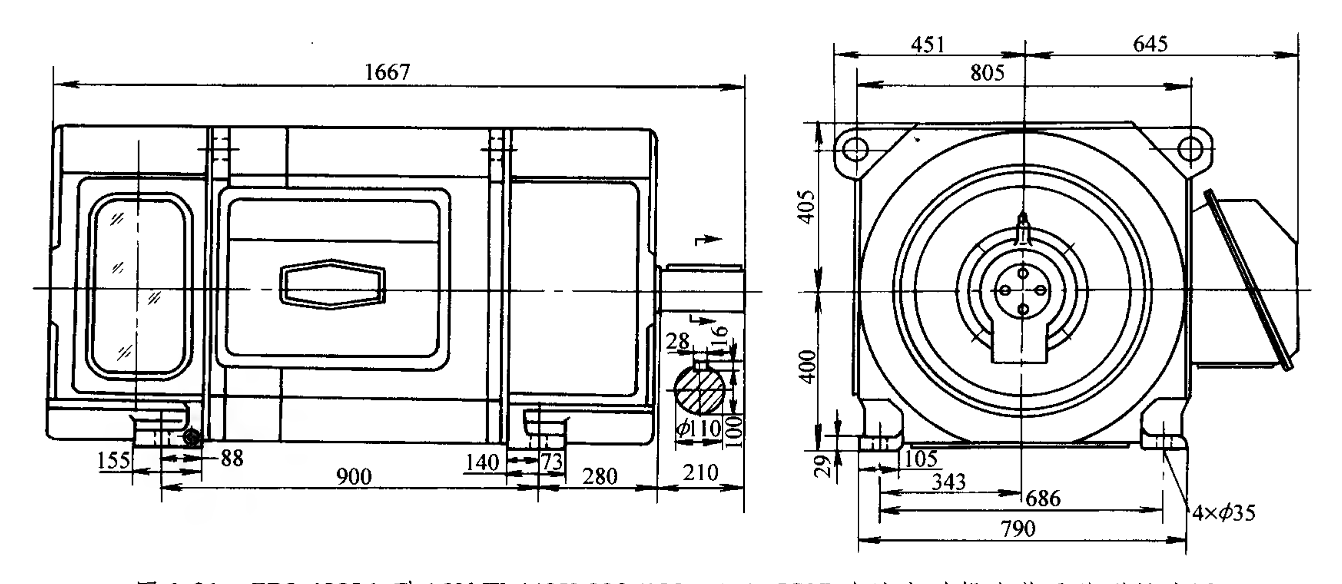


图 1-31　ZD3-400L1 型 160kW 440V 320/1200r/min IC37 直流电动机安装及外形尺寸图

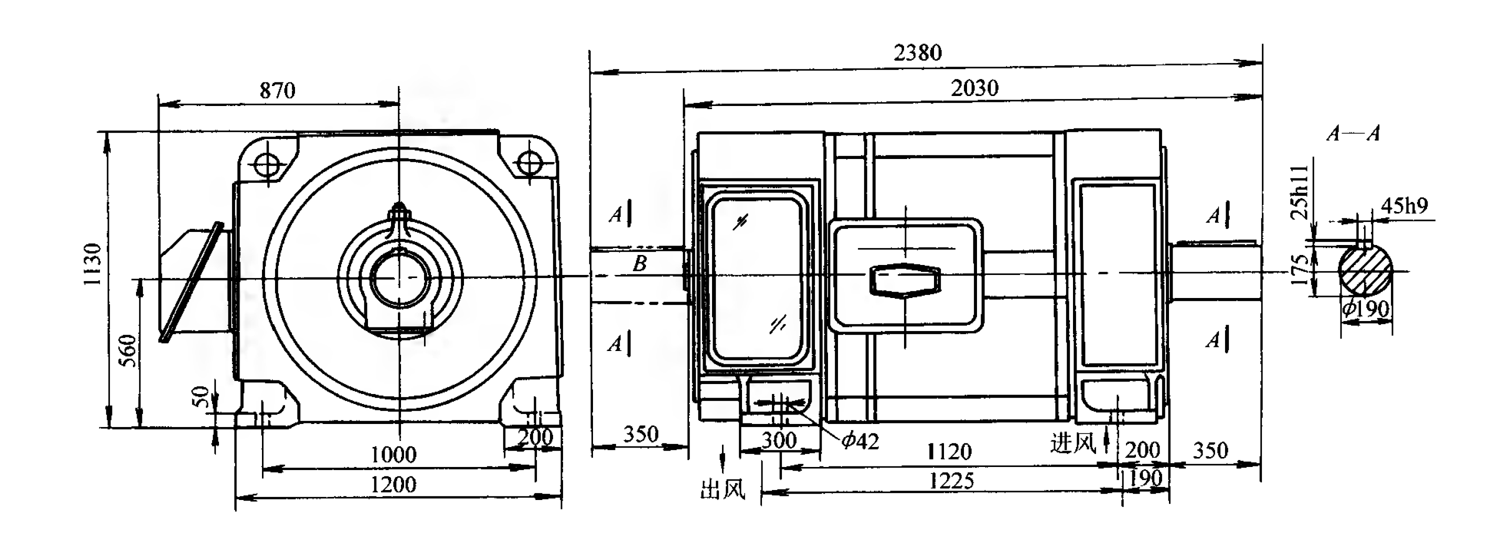


图 1-32　ZD3-560SIP 型 630kW 660V 500/1000r/min IC37 直流电动机安装及外形尺寸图

图 1-33　ZD3-500SIP 型 250kW 440V 320/1000r/min IC37 直流电动机安装及外形尺寸图

第七节　ZZJ2 系列起重冶金用直流电动机

一、概　　述

ZZJ2 系列起重冶金用直流电动机用于冶金企业的各种起重设备和升降机械设备上使用，具有耐冲击、振动、频繁正反转和制动等特性。

该系列电动机可用直流发电机组供电或三相桥式全控静止整流电源供电。

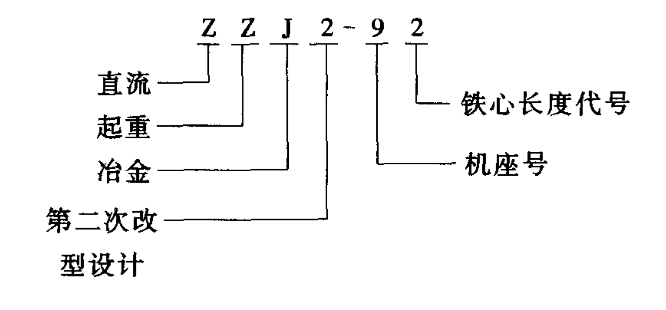
励磁方式有并励、他励、串励和复励 4 种，额定电压有 220V、440V 两种，3 号机座以下电机不制造 440V 的。

工作方式有断续工作制（负载持续率 25% 或其他）和连续工作制（负载持续率 100%）两种。连续工作制采取带有鼓风机或管道通风的外通风式（IC16），3 号机座及以下电机不制造连续工作制的，而断续工作制的电动机为封闭自冷式 IC0141。

电动机采用弹性联轴器或正齿轮与负载机械连接。

二、型 号 含 义

例



三、结 构 特 点

电机机座采用 ZG230-450 铸钢浇铸或用 Q235（A3）原钢板焊接而成。

定子主极冲片采用 1.5mm 厚的 Q235 钢板冲制铆固，换向极铁心采用整块 Q235 厚钢板制成。

主极绕组和换向极绕组为 F 级。

电枢铁心采用 0.5mm 厚的硅钢片冲制叠压而成。

转轴采用铬钼合金钢车制。

换向器为拱形结构。轴承为滚动轴承，润滑脂为 3 号锂基脂。

连续工作制的通风系统为带鼓风机或强迫通风的

外通风式；断续工作制的通风系统为封闭自冷式。

电动机为卧式安装。基准负载持续率为 25%，也可制造 15%、40% 和 60% 的。

四、安装及外形尺寸

图 1-34 为 ZZJ2-5 ~9 号机座连续工作制电动机安装及外形尺寸图，表 1-25 为其安装及外形尺寸表。

图 1-35 为 ZZJ2-5 ~9 号机座断续周期工作制电动机安装及外形尺寸图，表 1-26 为其安装及外形尺寸表。

五、电磁技术数据

附表 1-6 为 ZZJ2 系列起重冶金用直流电动机电磁技术数据（220V）附表 1-7 为 ZZJ2 系列起重冶金用直流电动机电磁技术数据（440V）。

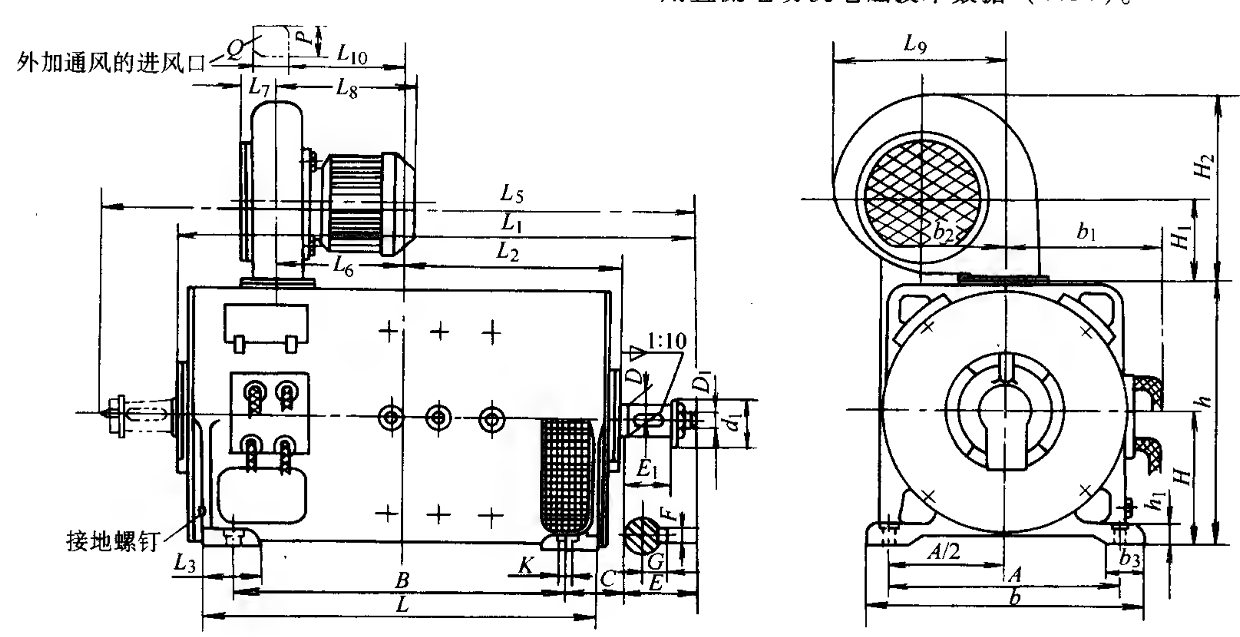


图 1-34 ZZJ2-5 ~9 号机座连续工作制电动机安装及外形尺寸图

表 1-25 ZZJ2-5 ~9 号机座连续工作制电动机安装及外形尺寸表 (mm)

型号	L	L_2	C	L_3	L_1	L_5	L_6	$A/2$	A	B	b	b_2	b_1	b_3	h	H	h_1	E
ZZJ2-51	810	468	155	140	1090	1240	275	240	480	650	580	290	335	110	600	300	35	140
ZZJ2-52	890	508	155	140	1170	1320	315	240	480	730	580	290	335	110	600	300	35	140
ZZJ2-62	980	570	185	160	1315	1490	340	270	540	780	650	325	370	120	670	335	35	170
ZZJ2-71	1020	595	200	180	1405	1620	310	310	620	800	730	365	385	150	750	375	45	210
ZZJ2-72	1130	650	200	180	1515	1730	365	310	620	910	730	365	385	150	750	375	45	210
ZZJ2-82	1220	695	210	200	1615	1900	435	330	660	980	780	390	410	150	800	400	45	250
ZZJ2-91	1260	725	220	200	1705	1960	490	370	740	1020	880	445	465	170	895	450	50	250
ZZJ2-92	1390	790	220	200	1835	2090	535	370	740	1150	880	445	465	170	895	450	50	250

型号	E_1	D	D_1	d_1	K	F	G	H_1	H_2	L_7	L_8	L_9	L_{10}	Q	P
ZZJ2-51	105	75	2M48	95	$\phi36$	20	41	180	407	89.5	338	361	195	160	180
ZZJ2-52	105	75	2M48	95	$\phi36$	20	41	180	407	89.5	338	361	235	160	180
ZZJ2-62	130	90	2M60	120	$\phi42$	24	49	180	407	89.5	338	361	260	160	210
ZZJ2-71	165	110	2M80 ×3	145	$\phi42$	32	60	234	527	110	416	478	215	190	210
ZZJ2-72	165	110	2M80 ×3	145	$\phi42$	32	60	234	527	110	416	478	270	190	210
ZZJ2-82	200	130	2M100 ×3	180	$\phi48$	36	70	234	527	110	416	478	330	210	210
ZZJ2-91	200	140	2M100 ×3	180	$\phi48$	36	75	323	636	126	447	503	310	240	240
ZZJ2-92	200	140	2M100 ×3	180	$\phi48$	36	75	323	636	126	447	503	310	240	240

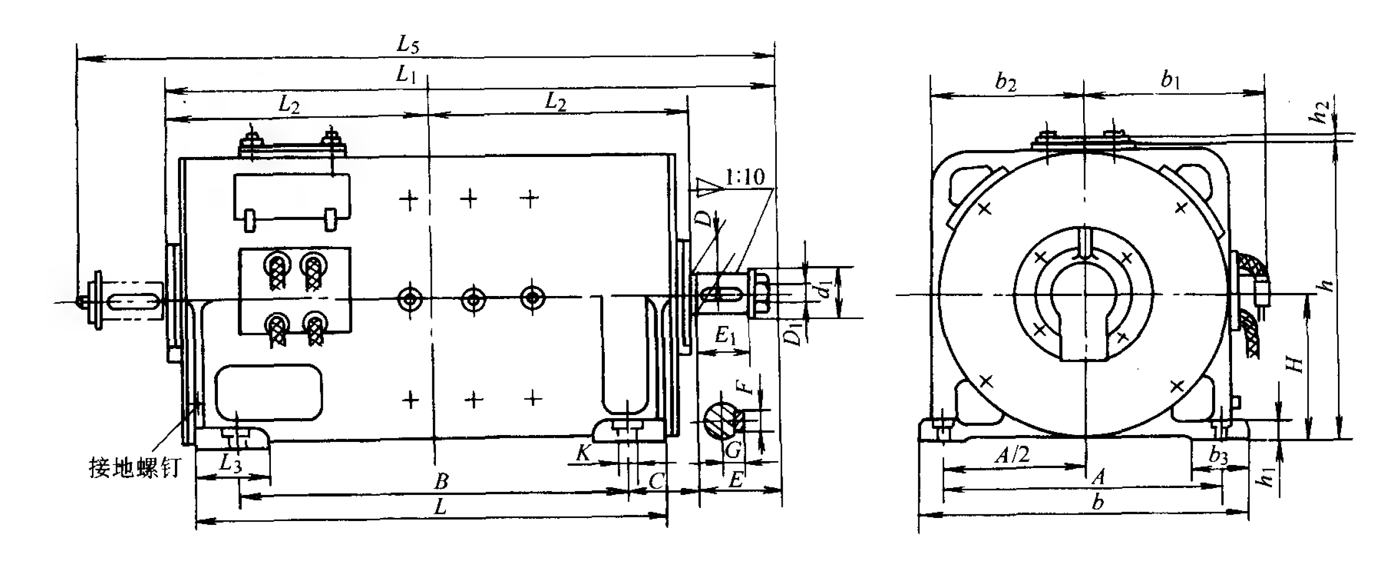


图 1-35　ZZJ2-5～9 号机座断续周期工作制电动机安装及外形尺寸图

表 1-26　ZZJ2-5～9 号机座断续周期工作制电动机安装及外形尺寸表　(mm)

型号	L	L_2	C	L_3	L_1	L_5	$A/2$	A	B	b	b_2	b_1	b_3	h
ZZJ2-51	810	468	155	140	1090	1240	240	480	650	580	270	335	110	600
ZZJ2-52	890	508	155	140	1170	1320	240	480	730	580	270	335	110	600
ZZJ2-62	980	570	185	160	1315	1490	270	540	780	650	325	370	120	670
ZZJ2-71	1020	595	200	180	1405	1620	310	620	800	730	365	385	150	750
ZZJ2-72	1130	650	200	180	1515	1730	310	620	910	730	365	385	150	750
ZZJ2-82	1220	695	210	200	1645	1900	330	660	980	780	390	410	150	800
ZZJ2-91	1260	725	220	200	1705	1960	370	740	1020	880	440	460	170	900
ZZJ2-92	1390	790	220	200	1835	2090	370	740	1150	880	440	460	170	900

型号	H	h_1	h_2	E	E_1	D	D_1	d_1	K	F	G	轴承
ZZJ2-51	300	35	11.5	140	105	75	Z2M48	95	ϕ36	20	41	42617
ZZJ2-52	300	35	11.5	140	105	75	2M48	95	ϕ39	20	41	42617
ZZJ2-62	335	35	11.5	170	130	90	2M60	120	ϕ42	24	49	42620
ZZJ2-71	375	45	20	210	165	110	2M80×3	145	ϕ42	32	60	42624
ZZJ2-72	375	45	20	210	165	110	2M80×3	145	ϕ42	32	60	42624
ZZJ2-82	400	45	20	250	200	130	2M100×3	180	ϕ48	36	70	42626
ZZJ2-91	450	50	20	250	200	140	2M100×3	180	ϕ48	36	75	42628
ZZJ2-92	450	50	20	250	200	140	2M100×3	180	ϕ48	36	75	42628

第八节　ZZJ800 系列轧机辅传动用直流电动机

一、用　　途

ZZJ800 系列直流电动机是根据国际电工委员会 IEC34—13 标准制造的起重冶金辅助传动电动机，供轧机卷取、压下、活套、机架辊、辊道等传动的动力之用。

二、结构特点及绝缘性能

1）电动机转动惯量小，为老系列电动机的 50%～60%。

2）过载能力强，正常运转时，过载转矩为额定的 2.6～2.7 倍，起动时，为额定的 2.9～3 倍。

3）适用于交流机组供电和晶闸管电源供电。

在制造结构上有以下特点：

机座采用圆形整体钢板结构，所以能承受负载冲击和机组的振动。在电动机下部有进出风口，在其上部留有装鼓风机的位置，以满足不同需要。

全部绕组为 F 级绝缘，电枢、主极绕组、补偿绕组以及换向极绕组均以环氧无溶剂漆真空压力整浸方式，使绕组与铁心形成一个坚固的整体，提高了电机的散热能力、防潮性、抗污染、抗冲击以及抗振等能力。并以 B 级允许温升标准进行考核，延长了绝缘使用寿命。

非接触带电表面全部采用环氧喷涂工艺，可保证在恶劣环境中安全运行。

升高片与电枢线圈的联结采用钨极惰性气体保护焊（TIG 焊接），所以使电机在严重的机械、电气负载条件下运行必能保证可靠性。

三、标准规格及安装尺寸

ZZJ800 系列电动机有 802～818 共 10 个机座号 112 个标准规格、其外形及安装尺寸见表 1-27。外形及安装尺寸图见图 1-36。额定值见表 1-28。基本结构有全封闭（IC40）和管道通风（IC17）两种冷却方式。

ZZJ800 系列电动机的标准电压为 220V，可以在 500V 以下运行。他励电动机的标准励磁电压为 220V。

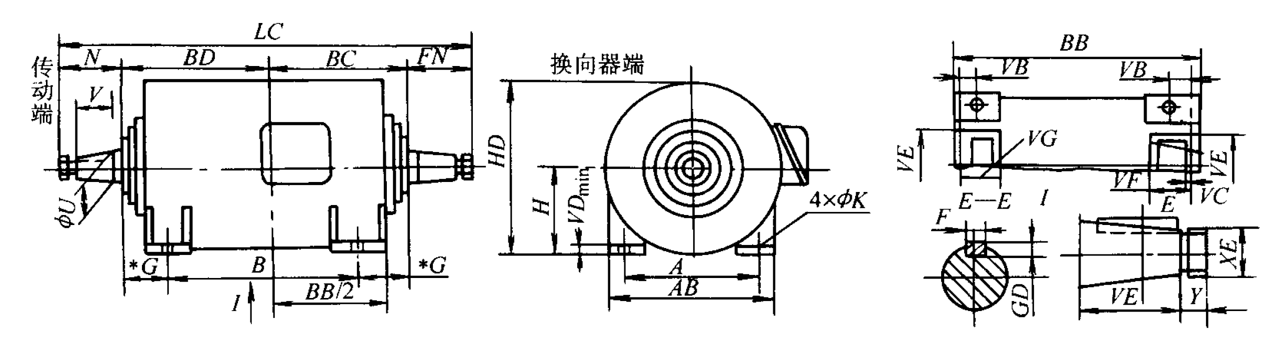


图 1-36　ZZJ800 系列直流电动机外形及安装尺寸图

注：＊—暂定尺寸

表 1-27　ZZJ800 系列外形及安装尺寸（220V）　（mm）

机座号	A	AB	B	BB	BC BD	F*	GD*	H	HD	K	LC	N FN	φU	V	VB	VC	VD	VE	VF	VG	XE	XG	XH	Y
802	316	380	420	520	304	12	8	193	400	24	834	113	45	70	22	10	13	184	121	56	M30×2	94	M20	30
803	358	432	456	598	342	12	8	215	440	28	940	128	50	83	44	43	13	216	127	64	M36×3	114	M24	32
804	380	458	480	648	367	12	8	228	470	28	990	128	55*	83	57	13	13	229	140	70	M36×3	127	M24	32
806	420	508	530	698	394	16	10	254	520	28	1074	143	65	95	54	13	13	260	152	86	M42×3	129	M24	35
808	476	578	630	795	445	18	11	285	580	35	1208	159	75	108	51	13	22	292	165	89	M48×3	130	M30	38
810	520	622	660	825	475	20	12	311	635	35	1276	163	85	108	54	13	22	305	178	92	M56×4	145	M30	42
812	570	685	724	915	520	22	14	339	690	35	1396	178	95	120	64	16	22	349	210	124	M64×4	158	M30	45
814	636	762	810	1055	590	25	14	374	760	42	1542	181	110	120	86	16	22	387	235	140	M80×4	185	M36	48
816	684	825	890	1188	659	28	16	406	830	42	1714	198	120	135	114	25	22	406	279	168	M90×4	214	M36	50
818	760	915	990	1265	698	28	16	450	920	47	1792	198	130	145	98	25	22	457	305	181	M100×4	203	M42	40

四、电动机的工作方式类型

1）S1（连续运行方式类型）；

2）S2（短时工作方式类型）；

3）S3（断续周期性工作方式类型）。

五、电动机的外壳防护等级

1）IP44（全封闭式）

2）IP23（防护式）。

六、电动机的安装型式

1）IM1003（带二端盖式轴承，卧式底脚安装，单锥形轴伸）；

2）IM1004（带二端盖式轴承，卧式底脚安装，双锥形轴伸）；

根据需要可以生产下列结构及安装型式的电动机

1）IM4403（带二端盖式轴承，机座凸缘卧式安装，单锥形轴伸）；

2）IM4404（带二端盖式轴承，机座凸缘卧式安装，双锥形轴伸）；

3）IM4413（带二端盖式轴承，机座凸缘立式安装，单锥形轴伸）；

4）IM4414（带二端盖式轴承，机座凸缘立式安装，双锥形轴伸）。

七、电动机的冷却方式

1）IC40 或 IC41（封闭式靠机壳冷却）；

2）IC16 或 IC17（自带风机或外鼓风，进气管道通风冷却）；

3）IC37（外鼓风，进出气管道通风冷却）。

八、轴 承 型 号

ZZJ800 系列电动机轴承型号见表 1-29。

九、我国生产的大中型直流电动机主要技术数据（见附表 1-8）

表 1-28　ZZJ800 系列直流电动机的额定值(220、230、440、460、550V)

机座号	通风式连续工作制(S1)或全封闭 1h 定额工作制(S2) 功率/kW	额定电压时的转速 串励/(r/min)	复励/(r/min)	并励,他励 基速/(r/min)	弱磁调速/(r/min)[②] 220V 230V	弱磁调速/(r/min)[②] 440V 460V 550V	全封闭式串励(S3) 30min 工作制 功率/kW	额定电压时转速/(r/min)	全封闭式断续周期性工作制(S3)[③] 负载持续率 FC=30% 串励 功率/kW	串励 转速/(r/min)	复励 功率/kW	复励 转速/(r/min)	并励 功率/kW	并励 转速/(r/min)	通风式连续定额时空气流量/(m^3/s)	最大起动转矩[④]/(N·m) 串励	复励	并励	最大运行转矩[④]/(N·m) 串励	复励	并励	电枢最大惯性矩[⑤]/(kg·m^2)	最大安全转速/(r/min)
802A[①]	3.75	900	1025	1025	1025/2050	1025/2050	5.0	750	4.1	840	3.75	1080	3.75	1130	0.052	198	157	125	158	123	102	0.25	3600
802B[①]	5.6	800	900	900	900/1800	900/1800	7.5	675	6.0	780	5.6	950	5.6	1000	0.052	330	270	216	268	210	177	0.25	3600
802C[①]	7.5	800	900	900	900/1800	900/1800	10.0	675	7.5	800	7.1	940	6.7	1000	0.076	450	360	237	360	280	220	0.25	3600
803	11.2	725	800	800	800/2000	800/1600	14.1	620	11.2	725	10.8	840	10.5	880	0.094	740	610	400	600	470	360	0.5	3300
804	15.0	650	725	725	725/1800	725/1450	19.5	580	15.0	650	13.8	775	12.7	800	0.12	1100	880	590	880	685	830	1.3	3000
806	22.4	575	650	650	650/1950	650/1300	29.0	500	22.4	575	21.2	690	18.5	715	0.16	1870	1500	980	1490	1170	880	2.1	2600
808	37.3	525	575	575	575/1725	575/1150	48.5	450	30.0	570	28	625	26.0	630	0.20	3400	2800	1860	2700	2150	1650	3.8	2300
810	52	500	550	550	550/1650	550/1100	67.0	440	45.0	550	39	615	33.5	600	0.25	5000	4000	2700	4000	3100	2450	6.1	2200
812	75	475	515	515	515/1300	515/1050	100	420	63.5	525	56	580	45.0	565	0.35	7450	6250	4150	6000	4900	3750	9.2	1900
814	112	460	500	500	500/1250	500/1000	149	400	86	516	82	565	63.5	560	0.41	11600	9600	6400	9300	7500	5800	16.3	1700
816	150	450	480	480	480/1200	480/960	200	400	112	500	104	540	82	535	0.57	16000	13300	8900	12600	10400	8000	25.2	1600
818	186	410	435	435	435/1100	435/870	243	360	138	485	123	490	97	470	0.75	21700	18400	12300	17400	14400	11000	46	1500

① 802 机座有三种规格,电动机安装尺寸均相同,但电磁设计不同。

② 为获得这些转速范围,允许附加少量串励稳定绕组。

③ 断续周期性工作制(S3)意指在周期 5min 之内,负载时间 1.5min,不通电停车时间 3.5min,负载持续率 FC=30% 的反复负载连续使用定额,并励磁场连续励磁。

④ 考虑其他性能规定,可达到的最大数值。

⑤ 最大惯性矩的限值不得用于计算。

表 1-29　ZZJ800 系列轴承型号

机座号	802	803	804	806	808	810	812	814	816	818
轴承型号	42310	42311	42313	42315	42317	42319	42321	42324	42326	42328

第九节　直流电动机运行维护

一、日常运行维护

（一）运行中刷火的观察

加强日常维护检查，是保证电机安全运行的关键。运行维护人员首先应观察电机刷火变动情况，因为刷火的变化是综合反应电机各种故障的先兆。

电刷下火花在1½级以下时，为无害火花，电机可以在此火花下长期运转。当电机在暂时间过载时，允许2级火花。我国国标GB755—2000规定，换向火花等级见表1-30。

表1-30　换向火花等级标准

火花等级	电刷下火花程度	换向器及电刷状态
1	无火花	换向器上没有黑痕及电刷没有灼痕
1¼	电刷边缘仅有微弱的点状火花或有非放电性的红色小火花	
1½	电刷边缘大部分有轻微的火花	换向器上有黑痕，但不发展，用汽油擦其表面即能消除，在电刷表面有轻微灼痕
2	电刷边缘全部或大部有强烈火花	换向器上有黑痕出现，用汽油不能擦净，同时电刷上有灼痕，如短时出现这一级火花，换向器上不出现灼痕，电刷不能烧焦
3	电刷整个边缘有强烈火花，同时有大火花飞出	换向器黑痕相当严重，用汽油不能擦除，同时电刷上有灼痕。如在这火花下短时运行，则换向器将出现灼痕，同时电刷将被烧焦或损坏

从刷火颜色看，有桔黄色、兰色、红色、绿色、白色等颜色，有时是各种颜色混合在一起的。红色是碳粒的灼热燃烧、绿色是燃烧铜离子的颜色。换向正常时，一般是淡黄色、兰色或白色的火花。但对于特别明亮的兰、白色火花是不正常的，尤其包含着绿色刷火，表明电刷和换向器表明铜片有严重的烧伤。

从刷火形态上看，电刷下有均匀地不连续的点状刷火或比点状较大的粒状刷火，火花属于1¼和1½级，是正常的无害的刷火。

如果刷火形态呈舌状，有短火苗，一般为红色（电刷炭粒燃烧）在电机正反转或起制动状态时出现，正常时没有，不损伤换向器和电刷，这种刷火也是正常的。

如果刷火呈现明亮、爆鸣状刷火或火球状刷火以及飞溅状刷火，对换向器和电刷有严重损伤、是属于有害刷火。尤其形成环火时，对换向器和电机有破坏性的危害。

刷火如果随负载而变，负载大、刷火严重；反之，刷火轻微，这是电磁原因造成的；如果刷火不随负载而变，或变化不大，刷火分布规律不明显、不稳定，则多属于机械原因造成的。

（二）换向器表面状态的观察

刷火的变化，同时会引起换向器表面状态的变化。正常的换向器表面因有氧化膜存在，呈现古铜色，颜色分布均匀，有光泽。如果发现换向器表面不正常，则要检查与建立氧化膜有关的因素，比如负载大小、环境的温度和湿度、刷火情况、电刷材质等。

换向器表面烧伤或烧痕有以下几种常见的特征和规律。

1. 隔片烧伤

这是常见的故障特征。一般是每隔一片或数片烧伤换向片，很有规律。当换向器片数与电枢槽数的比值为2时，则每隔2片换向片烧伤1片；比值为3时，则每隔3片烧伤1片，即隔片数等于每槽每层并列的元件边数u。造成隔片烧伤的原因主要是升高片有开焊或刷粉将换向片局部短路所致。

2. 相隔一个极距烧伤

造成的主要原因是并头套开焊或换向器云母板凸出，另外原因是电刷压力不均匀，电刷与换向器表面接触不良，电刷电流分布不均引起的烧伤。

3. 局部区域烧痕

造成的原因是换向器表面不圆，电刷在区域内运行时跳离换向器，产生弧光，将换向片烧伤。

4. 换向片沿圆周不均匀烧黑

造成的原因是电机运行不稳定，电刷接触压力波动，产生刷火、，并对换向器侵蚀。造成换向器运行

不稳定的原因为转子不平衡；换向器凸片、陷片、不圆；机组轴中心线未对准；联轴器内有缺陷；电机定中心不对；减速箱运转不平稳等。

（三）电刷工作的检查

对于换向正常的电机，电刷与换向器表面接触的电刷工作面应呈现平滑、明亮的“镜面”，如果电刷工作面出现异常现象，可判定电机换向存在故障。当换向刷火偏大时（大于1½级火花），电刷工作面会出现雾状的轻微烧痕，带有电弧熏烤的附着物。换向缺陷严重时，电刷会出现以下故障：

1. 电刷过热

造成电刷过热的原因是电刷压力过大、电刷因机械磨损而发热；电刷接触电阻过大，因电刷牌号选错；换向器表面粗糙、负载过大；换向刷火过大等。

2. 电刷磨损过快

造成的原因是电刷压力过大或过小，刷压过小是电气磨损使电刷磨损过快；环境湿度过低、环境温度过高、粉尘过多；电刷牌号不对；电刷与换向器接触不良；电机火花过大等。

3. 电刷振动、噪声大

造成的原因是电刷与刷盒配合间隙不当，刷盒与换向器表面距离过大（一般是2～4mm）；电刷装置故障，如铆钉松动、弹簧失效、刷辫脱落；另外换向器表面状态不良，有刷火存在；电机本身振动引起刷架振动等。

为了保证电刷工作正常，首先检查电刷在刷盒内是否活动自如，正常的活动间隙为0.1～0.15mm，间隙过大不但会使电刷与换向器工作面接触不良，同时还会使电刷卡在刷盒内，如图1-37所示，电枢旋转没从右向左，电刷在弹簧垂直压力p作用下，电刷与换向器之间产生摩擦力f，此力f方向也是从右向左，由于电刷在刷盒中间隙较大，所以电刷向左倾斜，电刷侧面与刷盒壁之间的间隙不均，a点被刷盒卡住，而b点又出现很大间隙。解决办法可将电刷改成斜压式的（图1-37b），由于有一分力p_2，其方向与f方向相同，使电刷与刷盒b接触无间，则不存在b间隙和a点卡住的问题。

通常在现场检查电刷在刷盒内活动情况，是用手提起电刷，通过提刷时来体验电刷在刷盒内活动情况。另外要检查各电刷的刷压之间的压差不可大于10%，应根据弹簧秤检查刷压的压力大小，磨损程度较大的电刷会使刷压发生变化，所以要及时更换同型号的电刷。

电刷正常的压力见表1-31。

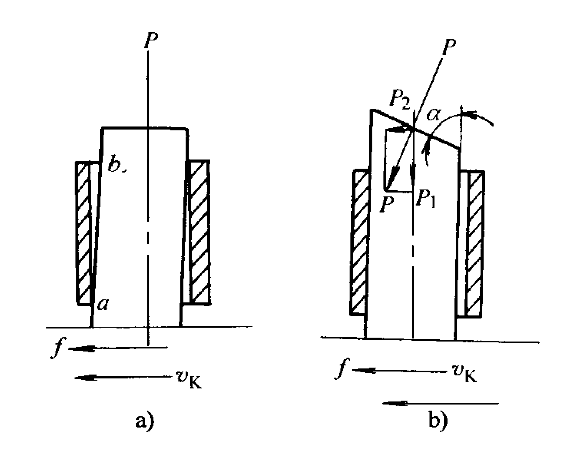


图1-37 电刷在刷盒内倾斜情形

a）间隙过大的电刷倾斜情况

b）改斜压式电刷的工作情况

表1-31 电刷正常压力表

电刷牌号	电刷压力/kPa	电刷牌号	电刷压力/kPa
D104（DS4）	1.50～20.0	D252（DS52）	20.0～25.0
D214（DS14）	20.0～40.0	D172（DS72）	15.0～20.0
D308（DS18）	20.0～40.0	D176（DS76）	20.0～40.0

当刷压或弹簧压力降低为初始值的70%～80%时，应更换电刷、刷盒和弹簧。

更换电刷时，必须保证电刷工作面与换向器表面相吻合。为此，电刷安装之前要预先打磨电刷的工作面，使其工作面圆弧与换向器表面外圆相符，然后将长砂布围在换向器表面上，要围紧，将电刷放在刷盒内，安装好，并调好弹簧压力，使各电刷压在砂布上，最后转动换向器，使砂布研磨电刷工作面。研磨后，取下长砂布，用压缩空气吹净换向器，将炭粉彻底吹干净。将电机空转，进一步研磨电刷，使电刷工作面呈“镜面”，换向器表面建立起氧化膜。

电机不停机在运行时，为了消除换向器表面的麻点和烧痕，可采用“电刷修磨石”清理换向器表面缺陷。“电刷修磨石”对电刷起研磨作用，对换向器起清理作用。

“电刷修磨石”是由柔软、疏松的磨石粉粒加入粘合剂经压制而成，其特点是：

1）清理换向器表面时，对换向片无损伤，磨下的粉末不含充塞在云母沟内。

2）只需几分钟便可将换向器表面研磨成“镜面”状。

（四）通风冷却系统的检查

通风冷却系统出现故障时会使电机温升增高。要求详细检查过滤器是否堵塞、电机通风管是否堵塞、

电机内部灰尘是否影响电机散热、冷却水是否正常、有无漏水现象发生。要求冷却水的水压不低于9.8×10^4Pa，进水温度不超过25℃，出口水温差不得超过10℃。

（五）润滑系统的检查

检查轴承温升，当环境温度在35℃以下时，滚动轴承温升为60K，滑动轴承为45K。

要求轴承无渗漏油现象。

（六）电机振动的检查

直流机振动标准值见表1-32，不可超过此表允许的范围。

表1-32 直流电机在额定转速下的允许振动值

电机转速/（r/min）	容许双振幅/mm	电机转速/（r/min）	容许双振幅/mm
500	0.16	1500	0.80
600	0.14	2000	0.07
750	0.12	2500	0.06
1000	0.10	3000	0.05

按电机容量、转速和振动值，按表1-33判别电机运行的振动情况是否良好。

表1-33 判别电机振动值优劣情况

（mm）

电机规格	最好	好	允许
100kW以上，1000r/min	0.04	0.07	0.10
100kW以上，1500r/min	0.03	0.05	0.09
100kW以上，1500～3000r/min	0.01	0.03	0.05

二、定期检查修理

（一）检修项目

直流电机检修项目有小修、中修和大修3种。

1. 小修项目

1）电机吹风清扫、清除电机内部灰尘和绕组、换向器表面污垢。

2）清理云母沟内脏物和炭粉、检查和处理升高片缺陷及各部绑扎情况。

3）更换和检查电刷、弹簧，调整刷压。

4）测量各绕组的绝缘电阻。

5）清理换向器表面，下刻云母沟。

6）清理出线盒，检查和包扎引出线。

7）轴承进行清洗和加油。

8）绕组表面缺陷处理。

9）紧固好所有紧固件。

2. 中修项目

1）包含全部小修项目。

2）解体电机、清扫或清洗线圈，并进行干燥、喷漆处理。

3）更换或修补局部线圈绝缘。

4）加固松动的槽楔、绝缘垫片和修补局部线圈绝缘。

5）加固和改进各绑扎线。

6）清洗、换油和更换滚动轴承；刮研滑动轴承的新瓦面等。

7）换向器打磨、车削和抛光处理。

8）更换全部电刷和刷架。

9）更换有缺陷的机械零部件。

10）做检查试验（直流电阻、片间电阻、对地耐压等）。

3. 大修项目

1）包含中修全部项目。

2）电机解体进行清扫、清洗和干燥浸渍处理。

3）更换全部线圈，并做浸渍绝缘处理。

4）车削换向器或转轴刷镀处理。

5）更换全部电刷，改进和调整电刷装置。

6）重新铸瓦、刮瓦面，安装和调整轴承座及电机机座。

7）转子找平衡。

8）机械零部件技术改造。如通风系统、升高片结构改造等。

9）检查和处理常见故障，如：

① 补偿断裂的转子支架。

② 重包补偿绕组，加固槽楔和垫片，用环氧树脂胶密封。

③ 处理刷架和整个支架的松动位移。

④ 换向器解体大修。

⑤ 做1.3U_N的超压试验及特殊要求试验等。

10）处理换向器表面烧伤故障时做以下检查和试验项目：

① 测刷距、调整刷座。

② 测电刷中性线。

③ 无火花区试验。

④ 测极距、各部气隙。

⑤ 用大电流（10A以上）测片间电阻等。

（二）脏污电机现场清洗

对于大中型电机，在现场清洗后没有大型烘干设

备，所以一般选用不需烘干的清洗剂进行清洗。一般采用 GD 系列带电清洗剂。

使用这种洗涤剂无需干燥，可缩短设备检修工期、节约能源、材料和减少维修费用，特别适用于不能停电或要求停机时间尽量短以及运输困难的机电设备的维护和检修，并能获得良好的经济效益。

1. 主要技术指标

常用带电清洗剂有 3 种型号：GD-1 型、GD-2 型、GD-3 型。均是无色透明液体，水分小于 0.02%，GD-1 型耐电压≥25kV，燃点 122 ± 3 ℃，清洗率 > 99.5%；GD-2 型耐电压≥10kV，燃点大于130℃，清洗率 >99%；GD-3 型耐电压≥6kV，燃点 > 134 ℃，清洗率 >90%。

2. 适用范围

该清洗剂主要适用于冶金、石油、化工、电厂电站、机车、内河及海洋运输等行业的所有机电设备、精密仪器的清洗，尤其是现场设备的维护与清洗。

3. 使用方法

将 GD 溶剂倒入特制喷枪灌（电动喷枪或接压缩空气）内即可连续喷射，也可用它擦洗其他清洗部件。

4. 注意事项

应妥善存放在阴凉干燥处；对某些耐溶性较弱的物件不宜长时间浸泡；设备运行中出现火花部位，不宜带电清洗；切忌掺水使用。

第十节　直流电动机常见故障

一、换向故障

直流电动机换向故障原因及排除故障的方法，见表 1-34。按换向故障征状查此表，可以查到故障原因和排除方法。

表 1-34　换向故障原因及排除故障方法

序号	故障征状	原　　因	排　除　方　法
1	电刷、刷握及换向器过热	1）电机过负载 2）电刷在刷握中幌动 3）电刷有卡住现象 4）电刷压力过大或过小 5）电刷牌号不符 6）电刷接触面小 7）刷握离换向器表面高 8）转子绕组匝间短路 9）空气湿度过低 10）通风不良，环境温度高	1）限制过负载 2）调整电刷在刷握中的配合间隙 3）调整电刷在刷握中的配合间隙 4）降低或增大弹簧压力，或更换弹簧 5）更换合适电刷 6）研磨电刷 7）调整刷握，使距离合适 8）消除匝间短路故障 9）调节空气湿度，增加喷雾装置 10）改善通风系统，降低环境温度
2	片间短路	1）换向器 3°面密封不好，有导电粉尘进入 2）换向器焊头或运行时有锡块进入 3°面缝隙内 3）片间云母槽内有炭粉和污粉 4）片间云母损坏 5）铜片内部槽有脏物	1）将 3°面密封，密封前彻底清理 3°面内粉尘 2）3°面清除干净后密封好 3）云母槽下刻，并吹风清理干净 4）更换片间云母或进行局部清理 5）打开换向器，清理短路点和脏物
3	接地故障	1）V 形环击穿 2）换向器受潮水滴 3）3°面有污物引起对地击穿	1）更换 V 形环或局部修补 2）烘干处理 3）3°面清除干净后密封好

（续）

序号	故障征状	原　　因	排　除　方　法
4	换向器表面有条纹	1）换向器偏心 2）电刷在刷握内随动性差 3）电刷压力太大或小 4）电刷接触面小 5）刷握离换向器表面高 6）定子极距不等 7）换向器表面有油污 8）空气湿度过高或低 9）空气灰尘大 10）刷面镀铜 11）电刷电流密度过低 12）电刷材质不适合 13）换向器表面有油雾附盖	1）加工换向器外圆度 2）调整电刷在刷握内配合间隙 3）降低或提高弹簧压力 4）研磨电刷 5）调整刷握位置，使距离合适 6）调整极距 7）清理换向器表面油污 8）调节空气湿度 9）过滤冷却空气 10）防止潮气和有害气体进入，选用合适电刷 11）要避免在低电流密度下长期运行 12）更换合适电刷牌号 13）防止油雾进入，清擦换向器表面
5	环火	1）电机过负载 2）片间电压过高 3）换向极磁路饱和 4）换向云母片突出 5）换向片凸出或凹下 6）转子绕组开焊 7）短路或重负载冲击 8）转速过高	1）限制过负载 2）限制电压，刷架装隔弧板 3）加补偿绕组，限制负载 4）下刻云母片 5）加工换向器外圆，加工前要紧固换向器 6）补焊 7）防止过载，消除短路故障 8）检查增高转速原因并消除
6	电刷振动，有噪声	1）换向器云母片突出 2）换向片凸出、凹下或偏心 3）电刷在刷握内晃动或随动性差 4）电刷压力太小或倾斜角不适当 5）刷握离换向器表面高 6）空气湿度过低 7）电刷材质不合适 8）电机振动	1）下刻云母 2）加工换向器外圆度 3）调整电刷在刷握内配合间隙 4）增大压力或调整倾斜角 5）调整刷握位置 6）调节空气湿度 7）换符合要求牌号的电刷 8）校好平衡和排除电机振动
7	电刷磨损不均匀	1）换向极气隙不均 2）换向器偏心 3）电刷刷距不均 4）电刷在刷握内间隙大或随动性差 5）电刷压力太小或接触面小 6）刷握离换向器表面高 7）换向器表面有油污	1）调整各极气隙，使均匀 2）加工换向器外圆度 3）调整刷距 4）调整电刷在刷握内配合间隙 5）增大压力或研磨电刷 6）调整刷握位置 7）清理换向器表面
8	电刷磨损快	1）换向器云母片突出 2）电刷压力太大 3）电刷牌号不合适（含铜量少或含石墨量多） 4）换向器表面有油污 5）空气湿度过低或灰尘大 6）换向器表面粗糙 7）换向不良	1）下刻云母 2）降低弹簧压力 3）更换合适牌号电刷 4）清理换向器表面 5）调节空气湿度或过滤冷却空气 6）车光换向器表面 7）调整和改善换向

（续）

序号	故障征状	原　　因	排 除 方 法
9	电刷碎裂、掉边缺角	1）换向器云母片突出 2）换向片凸出或凹下 3）电刷在刷握中晃动或随动性差 4）电刷牌号不对 5）刷握离换向器表面高 6）空气湿度过低	1）下刻云母 2）加工换向器外圆度 3）调整电刷在刷握中配合间隙 4）更换合适电刷 5）调整刷握位置 6）调节空气湿度
10	换向器表面对称烧伤	1）换向极磁场太强 2）换向极磁场太弱 3）换向极气隙太小或太大 4）换向区太宽或太窄 5）换向极气隙不均 6）电机过负载 7）换向极磁路饱和 8）电刷刷距不均 9）电刷在刷握内随动性差 10）电刷压力太大或太小 11）电刷牌号不符 12）电刷太窄或太宽 13）刷握离换向器表面近 14）转子绕组焊接不良或开焊 15）换向极、补偿绕组接反或短接 16）定子极距不等	1）加大气隙或加大换向极绕组分流 2）减少气隙或增加刷宽 3）增大或减少气隙 4）减少或增加刷宽 5）调整各极气隙 6）限制过负载 7）限制负载，并加补偿绕组 8）调整刷距 9）调整电刷在刷握内配合间隙 10）降低或增大弹簧压力 11）更换合适电刷 12）增加或减少刷宽 13）调整刷握位置 14）进行补焊 15）改变接头或消除短路点 16）调整极距
11	换向器表面不对称烧伤	1）云母片突出 2）换向片凸出、凹下或偏心 3）电刷压力太小 4）刷握离换向器表面高 5）电枢绕组匝间短路	1）下刻云母片 2）加工换向器外圆度 3）增加压力 4）调整刷握位置 5）消除短路故障
12	换向器表面烧黑	1）云母片突出 2）换向片凸出、凹下或偏心 3）电刷在刷握内随动性差 4）电刷压力太小或电刷牌号不对 5）换向极、补偿绕组接反或短接 6）电机机械振动	1）下刻云母 2）加工换向器外圆度 3）调整电刷在刷握内配合间隙 4）增大压力或更换合适牌号电刷 5）改变接头或消除短路点 6）消除振源
13	换向器磨损快，不能建立好氧化膜	1）云母片突出 2）换向器凸出或凹下 3）电刷与刷握配合间隙大或电刷在刷握内随动性差 4）电刷牌号不对 5）刷握离换向器表面高 6）换向极、补偿绕组反接或短接 7）换向器表面有油污 8）空气湿度过低或灰尘大 9）电机机械振动	1）下刻云母片 2）加工换向器外圆度 3）调整配合间隙 4）更换合适电刷 5）调整刷握位置 6）改正接线或消除短路点 7）清理换向器表面油污 8）调节空气湿度或过滤冷却空气 9）消除振源

（续）

序号	故障征状	原因	排除方法
14	电刷电流分布不均	1）刷压不相等 2）电刷在刷握中间隙过小 3）刷辫螺钉未拧紧 4）混用不同牌号电刷 5）电刷粘结在刷握内	1）调整各刷压，使一致 2）调整间隙，研磨电刷 3）固定刷辫螺钉 4）改用同一材质或牌号电刷 5）清扫刷握内表面
15	滑入端有刷火	1）换向极磁场太强或气隙太小 2）换向区太宽或穿 3）换向极气隙不均 4）电刷刷距不均 5）电刷与刷握配合间隙过大 6）电刷在刷握内随动性差 7）电刷太宽或太窄 8）电刷接触面小 9）刷握离换向器表面近 10）电枢绕组焊接不良、开焊或匝间短路 11）定子极距不相等 12）电机机械振动	1）加大气隙或使换向极绕组分流 2）减少或增加刷宽 3）调整各极间气隙，使之均匀 4）调整刷距 5）调整间隙，使之合适 6）调整电刷与刷握间的配合 7）减少或增加刷宽 8）研磨电刷 9）调整刷握位置 10）进行补焊或消除短路点 11）调整极距 12）消除振源
16	滑出端有刷火	1）换向极磁场太弱或气隙太大 2）换向区太窄或气隙不均 3）换向极磁路饱和或电机过载 4）云母片突出 5）换向片凸出、凹下或偏心 6）刷距不均 7）电刷在刷握内晃动或随动性差 8）刷压太小或电刷牌号不符 9）电刷太宽或太窄 10）电刷接触面小 11）刷握离换向器表面高 12）转子绕组焊接不良、开焊或转子绕组匝间短路 13）换向极、补偿绕组接反或短路 14）定子极距不等	1）减小气隙或增大刷宽 2）增加刷宽或调整各极间气隙均匀 3）加补偿绕组或限制负载 4）下刻云母片 5）加工换向器外圆度 6）调整刷距 7）调整电刷与刷握间隙 8）增大压力或更换合适牌号电刷 9）减少或增加刷宽 10）研磨电刷 11）调整刷握位置 12）进行补焊或消除短路 13）改变接头或消除短路点 14）调整极距
17	电刷表面镀铜	1）换向极磁场太强 2）换向极磁场太弱 3）换向极气隙太小或太大 4）换向极气隙不均 5）电机过负载 6）云母片突出或换向器偏心 7）电刷刷距不均或压力太小 8）电刷在刷握内随动性差 9）电刷牌号不合适 10）电刷太宽或太窄 11）刷握离换向器表面高 12）换向器表面油污 13）空气湿度过高或温度过高	1）加大气隙或换向器绕组分流 2）减少气隙或增加刷宽 3）增大或减小气隙 4）调整各极气隙使均匀 5）限制过负载 6）下刻云母或加工换向器外圆度 7）调整刷距或增大刷压 8）调整电刷在刷握内配合间隙 9）更换合适牌号电刷 10）减少或增加刷宽 11）调整刷握位置 12）清理换向器表面油污 13）调节空气湿度或改善通风加强冷却

二、电 枢 故 障

直流机电枢系由电枢绕组、电枢铁心、换向器以及机械零部件等组成。当发现电枢产生故障时，尚不知是绕组还是换向器以及其他部件产生故障，因此要先外观检查，针对故障再进行故障处理。

（一）电枢接地故障

直流机电枢一点接地会引起保护装置动作或发生报警信号，如果有两点接地则会使电枢绕组短路，由于短路故障发生又会扩大电枢接地故障。

电枢接地故障可用绝缘电阻表或试灯检查，还可以用万用表测量电枢绕组或换向器与转轴或机壳的电阻值来判断接地的程度。

发现电枢接地故障时，先从简易的办法进行检查，因为造成电枢外面接地的可能性是换向器云母环的外露部分，在多粉尘的环境下会积存大量导电粉尘、油泥和污垢，这些导电的脏物使换向片与电枢转轴或换向器铁套筒连接，使换向器接地，从而使与换向器上焊接的电枢绕组接地。所以应先清理V形云母环外露的绝缘脏物，清理后，绝缘电阻仍是零，那就要进一步检查其他部分，也就是将电枢绕组与换向器分离，确定是电枢绕组接地，还是换向器接地。为此要提起所有电刷，使定子上的换向极绕组、补偿绕组和串励绕组与电枢绕组分开，这时将直流低压电源接到相隔一个极距的两个换向片上，用毫伏表测量换向片与转轴之间的电压降，如果某换向片与转轴之间电压很低，则表明这个换向片处有接地点。

在换向器内部造成接地点的原因是V形云母环的3°面进入导电粉尘，如果用220V交流试灯接在换向片和轴上，施电压后会看到烟雾产生，有可能将导电粉尘烧损冒烟，把导电的粉尘烧成绝缘物，从而切断换向器内部接地线路。

以上办法都是先从简易方法入手，也是通常采用的修理和检查方法。

如果上述方法不能解决电枢接地问题，就要烫开电枢绕组与换向片的焊接点，分别测量电枢绕组和换向器，确定是电枢绕组接地，还是换向器接地。

为了区分电枢绕组接地还是换向器接地，必需将两者的联结点断开，也就是将升高片焊接点烫开。不要一下子全部将升高片都烫开，可先将电枢绕组的中点处烫开一组升高片或并头套；测量每组中点两边的绝缘电阻，检查是哪一边电枢绕组接地。查出接地的一半电枢绕组之后，在这一半电枢绕组的中点再烫开一组升高片或并头套，测量各边的绝缘电阻，从而知道哪一边绕组接地。按上述逐组检查的淘汰法，可以很快找到接地点。采用上述方法只需烫开7%左右的并头套就可确定出故障点，从而可区分是换电器接地，还是电枢绕组接地。

1. 换向器接地原因

1）换向器V形云母环外露部分积存导电粉尘、油泥，使换向片与铁套筒或转轴联结，对地击穿。

2）V形云母环的3°面缝隙进入脏物、金属屑或碳粉，使换向片在电压作用下击穿V形云母环，造成接地故障。

3）V形支母环绝缘老化，修理不当，使云母环受机械损伤以及V形云母环制作不合理等，均会造成换向器接地故障。

2. 检查方法

（1）用试灯或绝缘电阻表检查　采用220V、60W灯泡串在电枢转轴和换向器之间，将灯泡一端定在转轴上，另一端在换向器上移动，逐片试验，灯泡不亮的换向片表示没接地；灯泡发亮的换向片表示接地。

（2）冒烟法　采用较高的电压施加在换向片和转轴之间，对于虚接地（用万用表检查时，有一定的绝缘电阻值，但用绝缘电阻表检查时绝缘电阻为零，称为虚接地），一般不好确定故障点，可用此法使故障点暴露，对地击穿时会产生冒雾或火花，从而可判断出故障点。

3. 接地故障的处理

（1）清理V形云母环外露部分　用电工刀和锯条片将有油污和炭粉的绝缘层彻底清理干净，最后用毛刷刷去残余杂物，用沾有酒精和汽油抹布擦拭干净、再测试接地情况，如果不再接地，说明处理合理，用B级胶粉云母带或无纬玻璃丝带包扎，并刷上B级胶，外部再刷一层灰磁漆。

如果经上述处理，接地故障没有消除，那就要进行换向器的内部处理。

（2）拆下换向器的压圈，取出V形云母环　拆前要记好换向器压圈与换向片端面的相互位置，然后拆下定位螺钉和螺栓，取出V形云母环。检查和清理V形云母环表面脏物，如有烧痕要清除，进行修补。

处理后，再试绝缘电阻，如果接地故障消除，表明处理合格，否则还要拆下换向器，处理另一端的V形云母环。

（3）取下换向器进行解体　首先打开端部的绑箍，然后用绝缘纸将换向器表面包好，并用铁板夹具或钢丝将换向器捆住，最后将电枢绕组与并头套的焊接点烫开，使绕组与换向器分离，要做好详细记录。

将绕组焊接头抬起，拆下换向器。将铁压圈拆

下，取出V形云母环进行检查和修补工作。

(4) V形云母环的修补　用电工刀将V形云母环烧伤的部位清理干净、不留痕迹，并且在清理部分削出坡口，然后用酒精擦拭坡口周围，涂上环氧树脂胶或虫胶。修剪换向器塑型云母板（B级绝缘用5231虫胶塑型云母板或环氧酚醛玻璃坯布、F、H级绝缘用云531聚二苯醚衍生物塑型云母板和5250有机硅塑型云母板），使下料形状和尺寸与欲修补的范围相适应，贴在清理好的烧伤缺口部位上，要求铺平坦，然后用电熨斗熨平。再在其外表面涂刷一层环氧树脂胶或虫胶漆，再熨贴一层塑型云母板，使V形云母环厚度均一。待冷却固化后，修光边缘，做耐压试验。

(5) 换向器套装后的密封　换向器经过检修试验合格后，可以进行套装工作。换向器套装并与电枢绕组焊接，打好绑箍，要进行换向器3°面的密封。最常用的方法是采用环氧树脂和650固化剂各50%混合的溶剂进行3°面外面缝隙的密封。密封前要将密封处清理干净，换向器经过试验合格之后才准许密封。在室温下固化24h即可。

（二）电枢短路故障

直流机电枢短路故障包含换向片之间短路和电枢绕组匝间、层间短路故障。前者故障机会比后者多，所以处理这类问题时，是先处理换向片外部短路故障，不能消除故障时，再处理换向器内部或电枢绕组的故障。

1. 换向片间短路原因

1）换向器云母沟内或升高片根底有大量导电杂质、电刷灰等，使片间短路。

2）V形云母环3°面缝隙内进入导电粉尘，造成换向片在内部片间短路。

2. 电枢绕组匝间或层间短路原因

1）电枢绕组绝缘长期过热老化。

2）绕组遭受潮气、酸类侵蚀。

3）槽内线圈松动、线圈绝缘遭受机械损伤。

3. 检查方法

(1) 测量换向器片间电阻（片间电压降）　一般云母沟内脏污引起片间短路机会较多，测量片间电阻时可以检查出来，如果某换向片间电阻（或电压降）比正常值偏小，则说明这两换向片间有短路故障。

(2) 采用短路侦察器法　虽然电枢绕组本身是封闭“短路”的，但用短路侦察器检查还是可以灵敏地查出故障来，这是因为故障短路比正常绕组的自行封闭短路电流大的多。所以这种方法在电机修理单位经常使用。

4. 短路故障处理方法

处理程序是先外部后内部，先简后繁。

(1) 换向器片间短路的外部处理

1）清理云母沟中杂物，要清理干净，露出云母板本色（白、黄色）。

2）清理升高片根部的脏物，可用刮刀或电工刀清理表面漆膜、油垢、粉尘，用毛刷刷除干净，用放大镜检查是否有遗漏的部位。

3）用220V交流电压施加在片间进行冲击，如果片间有未清除的脏物（尤其换向器内部的片间脏物）在短路电流冲击下，有可能把导电的脏物燃烧成非导电体，从而消除短路点。

4）对于片间云母板局部烧伤炭化引起片间短路的处理。采用特制的钩状工具将炭化的云母板清除，清除干净后，用环氧树脂胶涂满被挖掉的云母板部位，固化后即可。环氧树脂胶可用6101环氧树脂和650固化剂各50%混合，其中填入云母粉拌均，在40℃左右温度下涂人，在室温24h固化，固化后再清理多余的环氧树脂胶。

5）换向器V形云母环的3°面上脏污是从外界进入内部的，如果进入内部不太深，范围不大，可以在不解体换向器情况下进行处理。

首先将V形云母环外露部分的绝缘清理干净，然后用吸尘器吸收V形云母环内部脏物，如果吸收后片间短路未消除，再用薄锯条片伸入到换向器的3°面进行清理，掏出的洞可用环氧树脂胶填充，最后在3°面外进行密封处理，这种“内病外治”的办法又省工又省材料。

(2) 换向器片间短路的内部处理　外部处理未能解决故障，则要进行换向器内部处理工作。

1）首先确认是换向器片间短路故障，为此按照电枢绕组接地故障及处理内容将电枢绕组故障与换向器故障区别开来。

为了处理换向器内部片间短路故障必需打开V形云母环的压圈。到底打开前压圈还是后压圈，首先要确定是前V形云母环造成片间短路，还是后V形云母环造成片间短路，如果只是前V形云母环脏污造成的，只拆开前压圈即可，这样就不必拆下整体换向器和焊开电枢绕组的焊接头，省事多了。

2）采用感应法确定片间短路部位。先从升高片端通入单相交流电源，电流为额定电流的10%～20%，把测磁线圈放在升高片旁，用电压表测出测磁线圈中感应出来的电动势，再把测磁线圈放在非升高片端的换向片旁，检查有无感应电动势，如有则说明短路端在非升高片端；反之在升高片端。

测磁线圈采用 0.16mm 高强漆包铜线绕在一块 75mm×35mm×8mm 的铁板上，绕 200 匝左右即可。

3）拆下压圈，处理 V 形云母环，同接地处理内容。

（3）局部更换片间云母板方法

1）某个片间云母板烧伤或绝缘老化，应更换新云母板。要求新云母板的厚度和材质与原有的规格相同。更换云母板时不必大拆换向器，通常修理单位是采取剔片法。

2）从转轴上拆下换向器，拆前用纸板和铁箍把换向器捆好，以防拆时变形，造成换向片松散。

3）拆开压圈和拉紧螺栓（视换向器具体结构而定）。

4）将换向器立放在平台上，松开铁箍，使铁箍的开口处对准欲更换的换向片处。用薄扁刀伸入云母板缝内，将旧云母板剔开，使离开换向片，这时不必担心换向器松散，因为运行多年的换向器，片与片之间已粘合很牢。

5）把事先做好的新云母板插入，要求新云母板插入位置正确。

6）再用铁箍把整体换向器捆紧。送入烘炉内烘培，炉温 150℃，时间 3～5h，分别在热态和冷态（50℃以下）状态下拧紧铁箍螺母，扎紧铁箍，使换向器成为整体。

7）测试片间电阻，合格后，装配换向器，套入转轴上，试耐压。

8）电枢绕组与换向器焊接。将电枢送入烘炉烘培，130℃，2～3h。

9）做片间耐压、对地耐压，必要时做超速试验。

10）精车换向器表面。

三、机械故障的检修

（一）铁心检修

检查铁心表面有无擦伤痕迹、铁心有无扇张现象和倒齿现象，铁心通风沟是否被堵塞。另外要检查槽楔是否松动、窜出、凸起；槽内垫条是否窜出。

发现上述问题，要及时处理。

（二）铁心冲片烧熔故障处理实例

当槽内线圈发生短路接地故障时，会产生弧光把故障线圈附近的铁心冲片烧熔，冲片间绝缘漆被烧焦变成导体，冲片之间形成实心铁块，产生很大的涡流，使铁心发热，局部烧红，又进一步烧毁线圈绝缘，所以冲片烧熔故障必须彻底清理。

实例：国外一台 200hp 直流电动机，电枢铁心部烧熔，采用铁损试验时，查出有三处短路点烫手，与正常铁心部位温差48℃。试验铁损计算如下：已知铁心外径 310mm，槽深 20mm，转子内孔直径 150mm，铁损试验数据计算：

铁心有效长　$l_{Fe}=K_e l=0.92\times390\text{mm}=35.9\text{cm}$

铁轭面积　$A_j=0.92l\quad h_j=0.92\times39\text{cm}\times6\text{cm}=210.6\text{cm}^2$

电源电压选 300V，磁通密度 B 为 1.4T，则励磁线圈匝数 N（匝）

$$N=\frac{U\times10^4}{4.44fBA_j}=\frac{300\times10^4}{4.44\times50\times1.4\times210.6}=46\ \text{匝}$$

励磁电流 $I=\frac{1}{N}a_w\cdot\pi\ (D_a-h_j)\ =\frac{1}{46}\times3\pi\ (31-6)\ =5.1\text{A}$

式中　U——试验电压，V；

f——电源频率，50Hz；

B——磁通密度，选用 1.4T；

A_j——铁轭截面积，cm^2；

a_w——单位长度安培，A/cm。

试验电流 I_1

$$I_1=\frac{1}{N}a_w\pi(D_a-h_j)=\frac{1}{46}\times3\pi(31-6)=5.1\text{A}$$

电流密度 J 选用 2A/mm^2，则导线截面积为

$$I_1/J=\frac{5.1}{2}=2.6\text{mm}^2$$

查出铁心三点发热，温度差 48℃，修理方法是采用硝酸腐蚀法，将铁心短路的冲片毛刺用硝酸溶液烧掉。详细内容见《电动机修理手册》单行本《三相交流电动机修理》内容。修理后，温度差 11℃，合格。

（三）转轴的检查

电机转轴通常采用45 号炭钢车制而成，特殊大型电机采用合金钢制做。要求转轴有一定强度和刚度，转轴常见故障是轴颈磨损、擦伤，转轴弯曲和断裂。

轴颈表面有轻微刮伤、锈斑等缺陷，可用油石或砂布打磨。用千分尺检查轴颈的椭圆度，一般轴颈的椭圆度是轴颈的 0.02%，而轴颈的圆锥度为轴颈的 0.03%，超过上述允许值时，要进行车削或磨光处理。

滚动轴承与转轴配合松动时，可采用胶粘剂做为液体垫涂在轴颈或轴承的内圈表面上。

（四）处理转轴与转子铁心支架松动实例

一台 75kW 直流电动机，在运行时产生振动，为此停机检查，发现转轴与转子铁心支架配合松动、造

成电枢转动时不平衡、产生振动。

抽心检查，取出转子铁心支架，发现与转子铁心支架配合的表面在轴向 200mm 长被“啃”下 3mm 深，为此将转轴上车床将被磨损的表面车平，然后进行补焊。补焊后车至所需尺寸。

将补焊好的转轴穿入转子铁心支架内，电机装配好进行试车，发现电机仍然振动。

又将转子支架压出，仔细检查，原来铁心支架内膛孔也“啃”了（因为是两个配合表面相互磨损，都被“啃”坏）。于是将铁心支架内膛孔车平，补焊，按新加工的镗孔尺寸与转轴配合，按基孔制，二级精度过渡配合，重新车转轴。

铁心支架与转轴配合之后，发现转子铁心外径偏 1.2mm（气隙 0.8mm），所以又重新压出转轴进行检查，发现转子铁心支架内圆在镗孔时镗偏，又重新镗孔，第二次补焊轴，重新加工配合尺寸。最后电机试车正常，不再振动。

从中汲取教训如下：

1）转轴表面被磨损而进行检查处理时，要考虑到与转轴配合的铁心支架内孔是否也被磨损而需要进行处理。

2）加工镗孔时要找好同心度，同时还要检查转轴的弯曲情况，经全面检查后再进行处理。

（五）电枢支架及换向器支架的检查及处理

1. 电枢支架的检查

大中型直流机的电枢铁心与转轴之间有电枢支架支承，当电机承受正反转冲击负载时，电枢支架幅板或拉筋在强大的交变应力下因疲劳而断裂。产生轻微的断裂时，会使电机振动和刷火异常，可用目观或手锤敲击检查，处理方法是在裂缝两端打上防止裂缝扩展的小孔，然后在裂缝处打出坡口，用直流焊机进行补焊。必要时可增加加强板，使机械强度增加，但要做平衡试验。

2. 换向器支架断裂

这种故障常发生在换向器悬臂的筋板上。产生支架断裂时，会出现异常刷火，换向器振动。所以靠刷火和换向器摆度检查能发现出来。处理方法是加固原支架，使其强度和刚度增加，同时固有频率也增加，减少与机组共振的可能；另外可将换向器原有的悬臂式结构，改为独立支架结构，从而提高其机械强度和刚度。

（六）电枢铁心拉紧螺杆过热故障处理

1. 过热的原因

容量较大的电枢铁心是采用扇形冲片叠装的，靠拉紧螺杆定位加压被拉紧后，用螺母拧紧螺杆，将螺母点焊牢固。当电动机运行时间较长以后，因螺母下的绝缘垫圈破损（有的电枢出厂时没有绝缘垫圈），螺母开始松动，当电动机在起、制动的瞬间，在螺母处会看到火花，长期松动和火花的作用下，螺母因过热和松动而开焊，最后会看到螺母因严重过热被烧红。另外，拉紧螺杆、螺母和铁心压板因无绝缘而构成回路，在电机交变磁场作用下，这个回路像鼠笼转子一样在回路中感应电动势，并产生很大的感应电流，此电流使拉紧螺杆、螺母和铁压板过热，此热量会使拉紧螺杆将冲片短路烧熔、使螺母烧红。

2. 螺杆、螺母过热的危害

由于拉紧螺杆松动，电枢铁心松动，引起电枢不平衡而振动，电机出现刷火。

拉紧螺杆、螺母和铁压板构成回路，造成电机损耗增加，电机发热。严重时，拉紧螺杆将局部铁心冲片烧熔短路，会使线圈绝缘老化，造成对地击穿故障。

3. 处理方法

从上述故障原因知道，造成这种故障主要是螺母、拉紧螺杆和铁压板之间无绝缘或绝缘不全构成电流回路所致。

针对上述原因，解决办法如下：

1）由于生产急需不能彻底处理时，可将螺母扣紧，点焊牢固，使其接触良好。

2）在螺母、拉紧螺杆和铁压板之间加绝缘垫，切断感应电流的回路。为此要做以下处理：

① 首先打开并头套上的绑扎无纬带箍，然后烫开绕组与并头套的焊接点，使电枢绕组与换向器分离。

② 取下换向器，做好原始记录，以后装换向器时，使并头套对电枢绕组端头“对号入座”，以保证不重绕电枢绕组。

③ 松开螺母，抽出全部拉紧螺杆，清理干净后，包扎绝缘。对于电流烧伤的拉紧螺杆会与电枢铁心冲片熔焊上，很难抽出来，这时可用钻头钻入 1m 以上深度，应用千斤顶再用大锤把拉紧螺杆打出。烧断或烧残的拉紧螺杆配制新的。

④ 清理铁心、冲片烧熔处时要处理好，必要时重新叠铁。

⑤ 制做螺母与铁压板之间的绝缘垫圈。

⑥ 插入处理好的拉紧螺杆，垫好绝缘垫圈，拧紧螺母，测量绝缘电阻，不构成回路为合格。

⑦ 将螺母与拉紧螺杆端头点焊牢固。

⑧ 按原始记录装入换向器，装好检查无误后，

将电枢绕组端头插入并头套内，焊接。

⑨ 测片间电阻。必要时精车换向器表面，最后下刻云母板。

四、直流电动机故障现场处理实例

（一）处理刷火实例

某厂600kW，220V直流电机一直存在换向刷火问题，负载增加后，刷火更严重。换向器表面沿圆周三等分频繁烧伤，为了维持生产，每年要车削一次换向器，每2个月要磨削一次换向器表面，每周还要打磨一次。

为查找刷火产生原因，测试了片间电阻；测量主极、补偿磁极极距；测量和调整电刷中性面以及调整刷距等措施之外，还检查和发现了换向片歪斜等缺陷。

该电机是两段组成的换向器结构型式，两段换向片是靠中间的联结片联结的、经仔细检查联结片两端不是焊在内外两段换向片的对应片上，错位一片，所以造成同一排电刷的滑出边不能恒定地保持在同一换向片上，造成刷火产生的原因之一。

另外还检查出电机的6排刷子在每个刷杆上都加了绝缘偏垫，偏垫的两边厚差为5mm左右，这就说明电机出厂时，已发现电机刷火严重，所以做出厂试验时，临时加垫调整刷火的，但制造厂并未检查出两段换向片之间联结错片的毛病，因此电机一投入运行便产生严重刷火。加偏垫未能从根本上解决缺陷，电刷后刷边压不到同一换向片上，所以刷火总是存在。

经查发现这些缺陷后，解决办法是：

1）撤掉制造时加的临时偏垫，按电刷压在同一片的原则，加减刷盒垫片，并仔细调整了刷盒位置。

2）测量换向片的歪斜值，按测出的平均值重新调整刷盒位置。

3）因运行时间较长，弹簧变形，压力不足，所以全部刷盒换新，保证电刷有足够的压力。

另外，又用喷雾装置调节电机周围湿度，使换向性能进一步得到改善。

电机经上述处理措施后，刷火大大降低（小于1½级），能保证电机在满载条件下安全运行。

（二）带电车削换向器实例

一台4600kW直流电动机，运行中出现严重刷火，将换向器表面烧伤，表面出现疤痕，不能维持运行，必须车削换向器处理。

考虑设备条件和工期，决定带电车削换向器，即电机供电自转带电切削。

主要措施是：

1）不拆除换向绕组和补偿绕组，因拆除困难，采用短路电刷装置。

2）车刀对刀架和对地绝缘，避免电枢接地。

3）刀尖对准电刷几何中性线位置。

具体操作如下：

1）先取下电动机端盖，同时将上半部刷架也取下，下半部的刷架向后移90°，让出车削空间。

2）在换向器右侧安装带自动走刀的简易车床架，调整车床架以电机轴线为准校正平衡，再以轴颈为准校整换向器。要求偏摆度为0.01mm，椭圆度为0.07mm以内。

3）用感应法测试磁场中心线找出电刷中性线位置。

4）将换向器升高片部分用纸板密封，以免车削产生的铜粉进入升高片根部。

5）在车刀的刀尖短路的换向片顶端装上一组短路电刷。刀尖对准换向器机械中心线上第一组电刷中性线位置上。

6）车削参数：

切削速度2~2.5m/s（换向器直径1.6m）；

切削转速20~30r/min；

粗车时，吃刀量0.2mm；

精车时，吃刀量0.1mm。

具体车削程序：

1）试车削。励磁电压50V，励磁电流280A，电枢电压130V，电枢电流200A，转速13r/min。

车削情况良好，无火花。因此决定正式车削。

2）正式车削第一刀。励磁电压50V，励磁电流280A，电枢电压150V，电枢电流200A，转速14~15r/min。吃刀深度0.2mm，走刀量4mm/min。用2h车完。

3）正式车削第二刀。用压缩空气吹净换向器后，进行第二次车削，这时电枢电压160V，电枢电流200A，励磁不变，转速15r/min，吃刀深度0.18mm，走刀量4mm/min，情况良好。

4）正式车削第三刀。电枢电压、电流和励磁方式同前。不变，吃刀深度0.18mm，走刀量2.2mm/min。最后精车吃刀深度0.1mm，走刀量仍是2.2mm/min。转速为16r/min。

经过换向器云母下刻和倒角及清扫后，测试换向器片间电阻，与车削前相同。

最后又做一次换向器表面抛光，转速20r/min，4h，粗糙度符合要求。

车削后的换向器运行良好。

（三）电枢绝缘电阻降低故障的现场处理实例

1. 故障情况和故障原因

某轧钢厂850车间ZJF215/41-10型直流电机电枢绕组绝缘电阻逐年下降，停机检查时，绝缘电阻已降到0.75MΩ。当时采用四氯化碳喷洗，由于喷洗用的橡胶管中有油和水分，喷洗后反而污染了换向器和电枢绕组的绝缘，这时测试电枢绝缘电阻已下降到0.5MΩ。后来改用刷子刷洗，用白布擦拭绝缘表面，再用热风干燥，最后使电枢绝缘电阻上升到1.1MΩ，投入运行。运行不久，由于冷却空气中含有潮气和碳粉，又使电枢绝缘受污染，绝缘电阻又回到0.5MΩ。由于生产任务紧急，未能停机检修，维持运行一段时间后停机测绝缘电阻，已降到0.2MΩ，但为了赶任务，电机仍继续使用。又运行一段时间后停机检查，绝缘电阻已下降到0.12MΩ，这时任务再紧也不敢再开车了。

分析原因，是由于该电机绝缘老化，绝缘之间的粘结力降低和产生裂纹，外界潮气和碳粉极易侵入，电机绝缘对环境条件变化非常敏感，必须彻底清洗处理。

2. 清洗方案的确定

通常绝缘电阻降低是由于绝缘受潮、污染和绝缘老化所致，该电机出厂日期较早，绝缘已老化，且受碳粉污染严重。

据国外资料介绍，可用汽油、苯和四氯化碳混合液体清洗，汽油浸润能力只有四氯化碳的1/12～1/15，但汽油的流动性优于四氯化碳，且四氯化碳较贵，所以最好是混合使用。四氯化碳和三氯乙烯均对人体有害（刺激中枢神经，可使操作者在15min内晕倒），因此采用时要注意，选择汽油和四氯化碳混合液清洗电机。

清洗时可以有两种方式，一是先浸泡电枢后清洗，二是只喷洗，不浸泡。不过，浸泡虽较彻底，但浸泡时间长时会使污垢注入绝缘里层，不易排除。另一方面，对于污垢多的电机，必要经过浸泡才能冲洗掉牢固的污垢。经过仔细分析，决定先浸泡，后清洗。

3. 电枢绝缘清洗处理

（1）清洗工艺

1）清洗前检查所用工具，设备是否齐全。

2）用塑料布包好换向器表面，防止油溅到换向器上。由升高片处通入压缩空气做为“风屏”，防止油星溅入换向V形环端部。

3）清洗前要用清洁、干燥的压缩空气彻底吹扫换向器升高片根部和V形云母环处。

4）清洗前用干净的汽油清洗喷枪和油槽。

5）清洗方法　首先让电枢绕组浸没在汽油槽内，油面高出绕组表面100mm左右，浸泡3～5min，然后转动电枢，均匀喷洗，重复几次。喷洗时要彻底使绕组死角部分（如绕组支架、扎带线底部等）彻底清洗干净。直至清洗后的汽油不再污染时，再用干净汽油冲洗一遍。最后用万用表测量绝缘电阻，记录电阻值和室温（不要用绝缘电阻表测量，防止损坏绝缘）。

（2）预烘

1）清洗后令电枢凉干2～3h后再进行预烘，凉干过程中同时对其进行吹风，以排除油分子。

2）烘干前再用万用表测量一次绝缘电阻，记录电阻值和室温。

3）烘干时温度要上升缓慢，升到70～80℃时保持2h左右，这时大量吹风，彻底排除汽油分子。升温至120℃为止，并保持6～8h。

4）每隔1h测一次绝缘电阻和炉温（保持80℃经2h后，可用1000V绝缘电阻表测量绝缘电阻）。

（3）第一次浸漆

1）采用1038号漆，漆的粘度为20℃时23s（用4号福特杯测量）。

浸漆时电枢本身的温度不应低于65～70℃。

2）第一次浸漆分两遍进行，第一遍浸漆时电枢每滚动一个位置要在漆槽中停顿一下，待漆槽中漆不冒泡时再继续滚动到下一个位置浸泡。在每个位置上的浸泡时间约5～15min，至不冒泡为止。第二遍浸漆时转子可不停顿，慢慢滚动一周即可。浸好漆后滴干1h，测量一次绝缘电阻和室温做好记录。

（4）烘干

1）干燥温度控制在120℃左右。当温度上升到70～80℃后每隔半小时吹风一次，促进甲苯之类的溶剂挥发。

2）每隔1h记录一次绝缘电阻和炉温。

3）当漆膜不粘手时，准备第二次浸漆。

（5）第二次浸漆与干燥

漆的粘度为20℃时35s（测量方法同上）。电枢在漆槽中连续滚动二次即可。浸后滴干1h。其他方面与第一次浸漆相同。最后进行干燥。干燥温度控制在120℃左右，每隔1h测量一次线圈绝缘电阻和炉温，做好记录。当绝缘电阻曲线由降低转向升高后再持续6～8h稳定不变为合格。经上述处理后，该电机的绝缘电阻上升至100MΩ，再投入运行，一切正常。

（四）电枢铁心与电枢支架之间斜键松动的处理实例

通常大中型直流电机的电枢铁心与电枢支架之间

是采用成对的斜键固定的。电机在运行当中常发生斜键松动现象，造成电机振动和出现严重刷火。

1. 造成斜键松动的原因

（1）电机装配工艺不妥　正确的装配工艺是电枢铁心与电枢支架在形成温度差的条件下（一般两者温度差 20～50℃）才打入斜键。并要求打斜键的位置应处在电枢圆周的下边打入，因为这时可靠电枢铁心的自重增大配合间隙，使斜键在电枢铁心与电枢支架的配合间隙内装配的更紧。如果不采取温差法装配斜键，比如在室温下直接打入斜键，虽然当时打入很紧，但当电机运转一段时间，铁心温度上升，高于电枢支架温度时，斜键配合间隙增大，造成斜键松动。

（2）加垫片造成斜键松动　在电机修理时，为了解决斜键松动问题，常采取在斜键之间加垫片办法，这种办法是不彻底的，因为垫入的垫片相当于弹簧片，运行一段时间将垫片压“平坦”则使斜键又开始松动。

（3）斜键本身加工精度不够　因精度不够造成点接触，在运行的冲击力作用下，将点接触处压平，也是造成斜键松动的原因。

2. 处理方法

1）首先应检查电枢铁心外圆的偏心度和是否有其他故障，以免处理好斜键松动后，又会发现其他故障问题。

2）为了拆卸斜键，应使升高片与电枢绕组焊接头分离。做好原始记录，然后拆下换向器，因为不拆下换向器不能拆下斜键进行施工；如果结构允许时，可不拆下换向器。

3）打出原有斜键。抽出后，测量斜键尺寸，检查故障原因，画出正确的斜键草图，制做新斜键。为了装配斜键，固定在配合间隙内，两端要点焊牢固，以防斜键再动，为此可适当将斜键加长 30～50mm。

4）先在冷态下打入新斜键，不要最后打紧，目的是在装配斜键的情况下校正电枢铁心与转轴的同心度，然后再用感应加热法将电枢铁心感应加热，使其与电枢支架形成温度差，为此加热时间宜快。

实例：一台 3000kW 电机的电枢铁心感应加热时，采用 $16mm^2$ 绝缘导线，在电枢支架的各孔内绕上感应线圈，共 5 孔，每孔绕 21 匝，分 5 组并联，施加 380V 单相电源，50Hz。

5）在加热和有温度差的条件下（温度差 20～25℃）打入斜键，将斜键最后拧紧。

6）最后将成对的斜键两端点焊牢，再与支架也点焊上。

按上述办法处理后，电枢铁心与电枢支架不再发生斜键松动的故障。

（五）某厂主电室 4600kW 直流电动机检修实例

（1）检修目的　改善换向、分析刷火原因，为此做以下检修工作：

1）测量直流机极距和进行调整。

2）测量电刷刷距，进行调整。

3）做测速机特性试验，解决电机转速差 13r/min 的问题。

4）测量动态特性（照像）和测试调速特性。

5）做系统制动时间特性。

6）做出完整的原始记录，进一步分析刷火原因。

（2）电机解体前的检查及原始记录

1）测试绕组绝缘电阻。

2）测量电机气隙，要求：

①　转子静止时，在两机两端进行测量。

②　以转子某一点为参考点，转动转子测量电机气隙。

3）测量换向器摆度及其外径尺寸。

4）测量和调整刷距、电刷与换向器的偏斜度。

5）外观检查。

以上项目需做好原始记录。

（3）电机拆除时的检查及原始记录

1）拆除轴瓦，测量瓦间隙、压油量，并清洗检查，做记录。

2）检修测速机和小变速箱。

3）对检修设备进行吹风清扫。

（4）极距调整工艺

1）准备工作　准备专用吊装工具；准备千斤顶、千分表、道木、钳工测量工具和使用工具。

2）天车拴好吊具，将电机的上半定子吊起，然后翻转，使其止口向上。

3）将道木摆好，高度 600mm 左右。将电机下半定子吊起，然后翻转，使其止口向上。

4）将上半定子与下半定子合并成整体，找正、找平。

5）复查电机极距，做好原始记录，并与原来的记录对照，如果符合时，则按原始记录表所示进行调整极距工作。

6）调整前，要安装好千斤顶和千分表，磁极下的千斤顶要避免松时上下移动，事先顶好，保持磁极中心线。

7）磁极间距仍按两极间测量（为了跟原始记录进行比较），测量记录数据要按记录表格填写。

8）调整磁极时，将磁极紧固螺丝稍松开，用木楔打入被调整的磁极之间，打时用力要适当，注意避免将线圈绝缘损伤。

9）对于调整困难的磁极，需取下螺丝，将螺丝车细些，但最多不超过螺纹底扣。

10）在取下螺丝时，要注意安全，须将磁极与线圈绑好，避免掉下伤人。

11）调整合格后，紧固全部螺丝，再全面测量一次，做好记录。

（5）调刷距工艺

1）换向器车削后，要测量摆度及其外径，从轴向方向找出3个间距相等的点，并测量3次。

2）装电刷前，要进行换向器的下刻和倒角工作，要求铜片无毛刺，检查合格后，再装好电刷支架。

3）调好刷盒与换向器表面距离后，装入电刷。要求刷盒距离换向器表面为（2.5±0.5）mm。

4）根据刷距原始记录，检查电刷与换向器片的斜度，进行调整。

5）调整前，要测量换向器周长、宽度，裁好米格纸，按电机的极数划好等分线，然后将米格纸围在换向器圆周上，要贴紧，等分线与轴向平行（等分误差<0.3mm）。

6）将调整好的一排电刷边缘与等分线重合，然后调整其余各排电刷，并分别与各极的等分线重合。

最后，使全部电刷边缘与对应的各等分线重合（偏差不大于1.0mm）。

（6）检查各线圈连接处，有松动处及时处理好，使连接可靠。

（7）测量电机气隙，记录。

（8）接好连接线后，进行轴瓦安装。

（9）做系统制动时间特性。

（10）做片间电阻试验。

（11）做测速机特性。

（12）做动态特性试验。

（13）以上各项做好原始记录，全面清扫后，进行全面试验。

第十一节　换向器故障修理

一、对换向器质量的要求

为了保证直流电机安全可靠运行和延长电机使用寿命，通常对换向器的质量有以下要求：

（1）换向器工作表面应有一层光泽的氧化膜，颜色正常。

（2）换向器工作表面清洁、光滑、平整，无伤痕和无毛刺，顺轴向方向的凸凹波浪不大于0.5mm。

（3）片间电压误差ΔU合格

$$\Delta U=\frac{U_{max}-U_{min}}{U_{min}}$$

式中　U_{max}——测量片间电压最大值；

U_{min}——测量片间电压最小值。

采用PD-2型片间电阻测量仪测量时，误差允许值为：新电机$\Delta U<5\%$；旧电机$\Delta U<8\%$。

（4）按我国《旋转电机技术要求》GB755—87中规定，换向器在正常运行时，换向火花不应大于1½级，在短时过载时，火花不超过2级。特殊电机要求较高，如船用电机正常运行时，换向火花不大于1～1¼级，短时过载情况进，火花不大于1½级。

（5）换向器外形为圆柱体　外圆摆度的测量可采用盘车或在低速下转动时用千分表测试，其允许的误差值如下：

1）由偏心引起的热态时的允许摆度　圆周速度≥15m/s时，取0.06mm；圆周速度<15m/s时，取0.10mm。

2）由偏心引起的冷态时的允许摆度　圆周速度≥15m/s时，取0.05mm；圆周速度<15m/s时，取0.09mm。

3）由凸片引起的允许摆度　圆周速度>40m/s时，应小于0.01mm；圆周速度为15～40m/s时，应小于0.02mm；圆周速度<15m/s时，应小于0.05mm。

（6）换向片对轴中心线的平行度，应满足以下要求：小型电机，平行度公差为0.8mm；中型电机，平行度公差为1.0mm；大型电机，平行度公差为1.5mm。

（7）换向器工作表面的粗糙度应细于R_a0.8μm。

（8）各刷距内的换向片数应分布均匀，容差为1mm，也就是要求允许偏差不大于一个云母片厚度或1/3的换向片厚度。

（9）换向器具有良好的导电性、耐磨性、耐弧性、耐热性和机械强度。

（10）换向片或升高片与电枢绕组之间焊接良好，接触电阻小，运行时无开焊和过热现象发生。

（11）V形云母环3°面涂封应严密，有较高的耐电弧性能。

（12）换向器绝缘可靠、耐压试验合格（包括片

间耐压、对地耐压、片间电阻、直流电阻和绝缘电阻等，应全部合格）。

（13）换向器云母下刻正常。小型电机为0.8～1mm；中型电机为1.0～1.5mm；大型电机为1.5～2.0mm。换向片下刻倒角为45°，倒棱宽度为0.3～0.5mm。

二、升高片铆接点及换向器松动的修理

（一）铆接式升高片铆接点松动的修理

有些直流电机，升高片与换向片的连接是采用铆接方式固定的，如图1-38所示。这种固定方式常发生铆接点松动故障，引起电枢绕组直流电阻不合格的问题。有时测量片间电压降时，发现电压降大或片间电阻大，就是因铆接点松动、接触不良造成的。处理这种故障，采用一般修理方法不能彻底解决。对于中小型直流电机，如果存在这个问题，可考虑改为整体换向片式结构，即按原换向片梯形尺寸制做升高片，再与原换向片焊接成整体，这样就根除了铆接点松动的隐患。

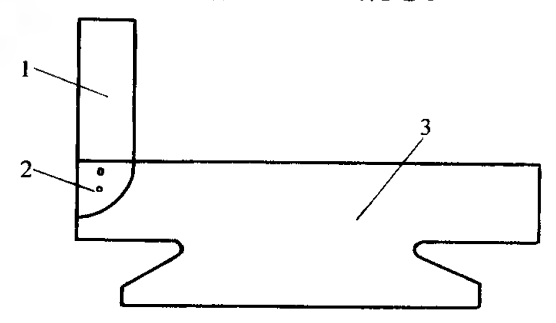


图1-38　升高片与换向片铆接方式
1—升高片　2—铆接点　3—换向片

下面介绍具体做法。

1）为取下换向器，需要烫开电枢绕组与升高片的焊接头。记录好电枢绕组接头位置，如果电枢绕组质量较好，还可复用，在搬动电枢线圈端头时，要小心，防止绝缘损伤。

2）将拆下的整体换向器放在车床上，车去原有的升高片，车削位置是按30°～35°角车掉，如图1-39所示，角度大小以去掉原来的铆接位置为限。

3）车掉所有升高片之后，要记录换向片与换向器轴键槽相互间位置，并且用绝缘纸板包上换向器，外表面用薄钢板或钢丝捆好，要求绝缘纸板的对口留有10～20mm的间隙，这个间隙是为了逐片拆掉换向片时抽出换向片用。

在拆除某一换向片时，将薄钢板或钢丝松开，剔出此换向片，其余换向片不动，因电机运行日久，其余换向片不会松散。剔出的换向片可焊上新制的升高

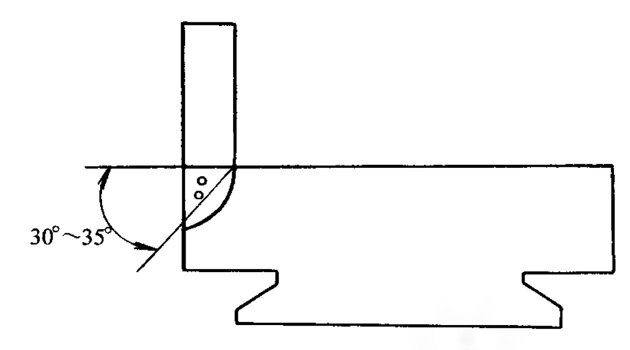


图1-39　换向片车削位置

片，焊好后经打磨毛刺（采用料303银铜焊料）后，再插入换向器的原来位置内，以后其他换向片也是逐片拆下来焊上新升高片。

4）新制做的升高片锥度（梯形）应与原换向片一致。

5）新制做的升高片经焊接后，需要整形、修平、铣出线槽并搪锡处理。

6）将所有制做好的换向片经插入原来位置之后，要进行排圆工作。由于上述工艺是逐片焊接后放在原有位置的，所以排圆工作比全部拆散重新组装要省许多工时。为了排圆，要将全部换向片用薄钢板或钢丝捆牢，一边捆，一边用木锤敲打，使成圆形。初步排圆后，要经压装成型。要求在冷态和热态（100～110℃）下冷、热压装两次，使换向器压装成整体。

7）检查V形云母环质量，必要时要进行修补或新制造。

8）换向器组装好并经压型成为整体后，可套入转轴上，将电枢线圈端头嵌入换向片线槽进行焊接。焊接前要确认原始记录的正确，换向器要经过耐压试验。

9）精车换向器表面，粗糙度达到$R_a0.8\mu m$。

10）换向器进行下刻，倒角工作。

11）测试片间电压降。

以上介绍的修理方法适用于中小型直流电机，优点是升高片的机械强度增强（因为已形成整体），根除铆接点松动的隐患，但缺点是耗费工时和材料。

如果不采取上述方法，比如拆开换向器，取出换向片后，将铆接点处全部点焊牢也可，但升高片的机械强度未能提高，还存在升高片断裂之患。

总之，要根据具体负载运行情况来处理这种故障问题。

（二）换向器松动的修理

造成换向器本身松动的原因是V形云母环老化收缩、紧固螺栓松动、V形云母环的鸽尾尺寸与换向片的30°锥面配合不齐，使换向片之间压力不足等，均会造成换向器松动。

由于换向片松动，引起换向片凸片，产生较大的刷火、使电刷碎裂，严重时造成换向片扭斜、变形，使换向片与轴线不平行，引起刷火加剧。

解决的办法是先将换向器加热后紧固螺栓，换向器紧固后，再在冷态下紧固一次。用小锤敲打换向器，应发出“当、当”的清脆声。最后车削换向器表面。如果换向片经紧固后仍松动，这时先不要车削换向器、而是将V形云母环取出检查装配质量、V形云母环厚度和30°锥面配合情况。校正好之后，再装上V形云母环，进行烘压和紧固处理。

对于换向片扭斜和变形的处理方法是先将紧固螺栓松开，加热换向器，然后用夹紧工具将换向器夹住向扭变的反方向旋转，使换向片与轴线平行，最后再扭紧固定螺栓。扭紧时也是采取热、冷各一次或二次，视换向器容量大小而定，容量大的换向器要反复多紧几次。

三、轧机直流电动机换向器升高片的断裂及改造实例

（一）概述

升高片是电枢绕组与换向器之间的导流连接件，在很大程度上决定了电机运行的可靠性。一般容量大、极数多的直流电机、其电枢外径较大，而换向器外径较小，所以两者之间的导流连接件的升高片，必需做的很长。升高片尺寸长，材质又较软。在电机运行中，由于机组扭振和起、制动以及正反转等原因，很容易产生升高片疲劳断裂故障，从而引起换向恶化，损坏电机，给生产带来损失。

通过电机运行观察和修理探索的经验知道，造成轧钢电机升高片断裂原因非常复杂，其中主要原因是换向器升高片的自然频率与轧钢转矩传递系统中的扭转振动中某一自然频率相耦合，或成倍数的合拍，产生共振现象，另外由于升高片的安装呈辐射状态，电磁力振动频率与生产机械振动频率、冲击负载与过载振动耦合产生的扭振和共振，使升高片局部应力疲劳损伤造成断裂。个别升高片相继断裂，又造成换向区域恶化，形成换向的恶性循环，使换向火花加剧，致使电机不能正常运行。

直流电机升高片的断裂故障非常普遍，如国内某钢厂直流机升高片的断裂达到总升高片的52%。某初轧厂4500kW轧机直流机电枢有954片升高片，相继断裂132片，占总升高片数的14%，另一初轧厂3000kW直流电机，升高片有765片，投入运行几年后，有7.06%的升高片断裂。

国外为防止升高片断裂，许多制造电机厂家，采取一些改善措施和特殊结构型式，比较典型的是西门子公司和美国西屋公司所采取的升高片结构型式。

图1-40是西门子公司升高片的结构型式。它的升高片总长度是采用两种不同材料构成，即采用铜-钢-钢结构型式。接头为硬钎焊。升高片的根部均为圆弧过渡，这样可避免升高片根部断裂的可能性。

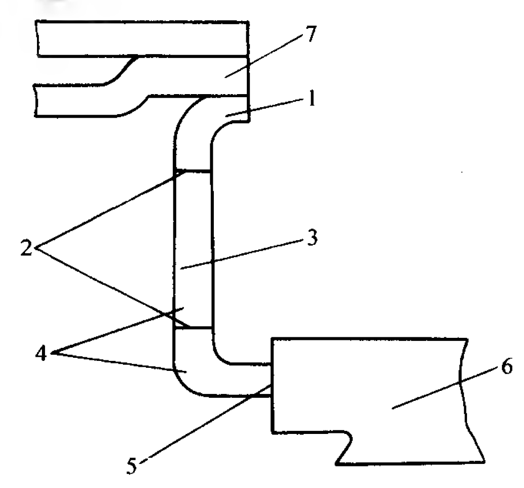


图1-40　西门子升高片结构型式

1—铜　2—硬钎焊　3—升高片　4—钢

5—硬钎焊　6—换向片　7—绕组

图1-41是美国西屋公司所采用的升高片结构型式。每33片升高片捆成一组（不同电机每捆片数不同），组合后用压型板固定成整体，以提高升高片的机械强度和固有频率。升高片与线圈之间没有并头套，直接焊在一起。

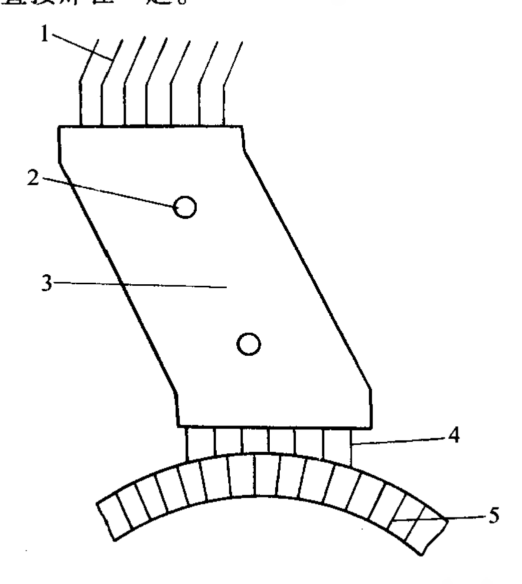


图1-41　美国西屋公司的升高片型式

1—升高片与电枢线圈接头连接　2—螺栓

3—压塑件　4—升高片根部　5—换向片

（二）3000kW直流机升高片改造实例

直流电机升高片制造形式和焊接方法很多，在焊接形式上主要分为两大类，一类是软钎焊（料603，

含锡量为 41% ~60%），主要用于普通中小型直流电机上，另一类是硬钎焊（如料 303，含银 45%、铜 30%），主要用于中大型直流电机上。在升高片加固形式上，也基本分为两大类，一类是硬件材料加固结构，一类是适形材料弹性加固结构。如图 1-42 所示。

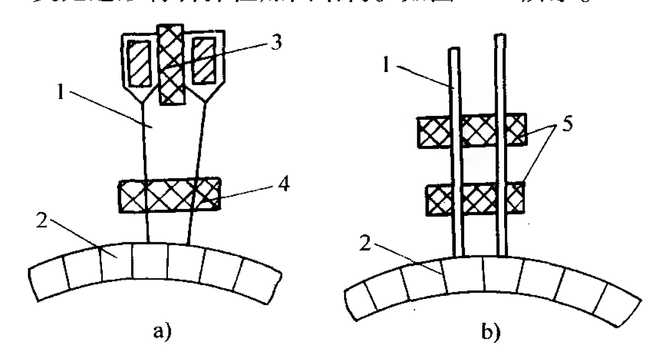


图 1-42　升高片加固形式

a）硬件材料加固结构　b）软件弹性加固结构

1—升高片　2—换向片　3—环氧板垫

4—尼龙圈　5—适形材料

在焊接方面，以往我国各大电机厂多采用软钎焊（料 603）和用硬质材料加固结构，这种方法工艺简便、结构简单，设备条件要求不高，但也存在明显的不足，即在升高片根部和在并头套处刚度不够，在电机过载和冲击负载的运行状态下，容易发生升高片根部断裂和并头套开焊。

国外先进技术虽然能较好地防止升高片振动损伤和断裂，但因制作工艺和设备较复杂，一般修理单位很难具备这些条件。但如果在修理单位的简陋条件下，采取一系列办法，也能保证质量进行修理。下面介绍 3000kW 直流机修理升高片断裂的实例。

1. 测绘电枢升高片的技术参数

3000kW 电枢升高片结构如图 1-43 所示。

技术数据如下：换向器外径 1300mm；换向器片数 760；换向器轴向长度 300mm；升高片高度 415mm；升高片外径 2130mm；升高片厚度 1.5mm；升高片宽度 30mm；并头套高度 40mm；并头套铆接高度 10mm；里圈固定高度 140mm；外圈固定高度 125mm；固定垫圈直径 25mm。

2. 具体改进措施

措施（1）：3000kW 电枢换向器升高片的改造措施之一，是将换向器升高片加固的硬材料改为软性的弹性材料，并将升高片的并头套与根部使用胶粘剂加强，以增加刚度，其目的是使升高片的自然频率与系统的频率降低，使共振衰减到最低的限度，从而减少对升高片的应力疲劳损伤，增加其换向器升高片的运行周期。

具体做法是在沿换向器升高片圆周的每个升高片并头套之间增加弹性垫，以减少电枢旋转的扭振频率。目前国外采用这种工艺较多，如日本东芝 800 系列 2×1100kW 电机自然振动频率为 225Hz，而系统频率为 20Hz，这样使系统振频与自然振频不能混合产生共振现象，从而控制升高片免遭较大应力，减少升高片的疲劳损伤。

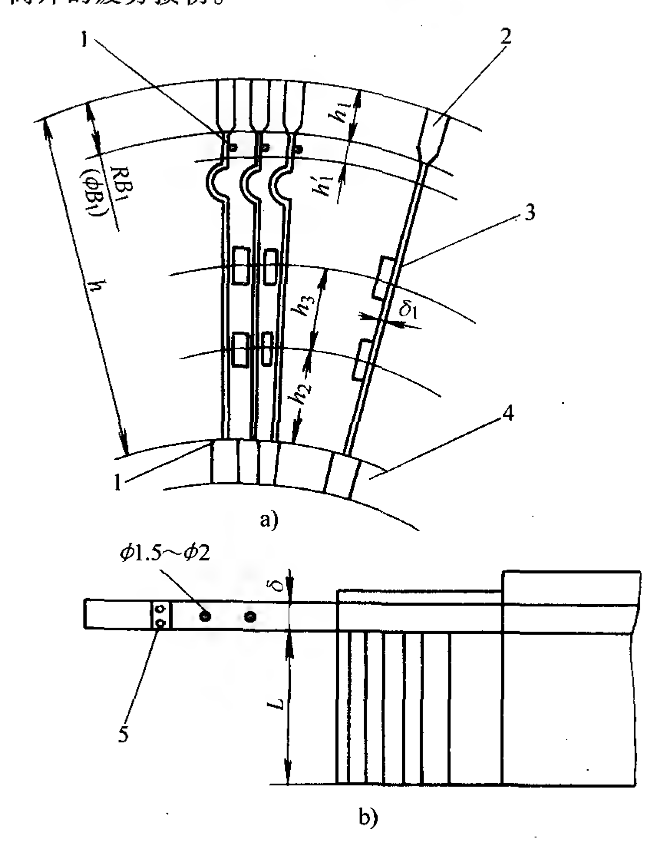


图 1-43　3000kW 电枢升高片结构

a）主视图 RA_1（ϕA_1）　b）俯视图

1—断裂点　2—并头套　3—升高片

4—换向片　5—铆钉

除增加必要的弹性材料措施之外，还在升高片根部与升高片的中间连接处增加升高片的刚度。这些措施都是为了解决升高片不发生共振提供必不可少的条件。

措施（2）：加强升高片并头套处无纬带的绑扎强度。将一般使用的聚酯-17 型无纬带改为高强度环氧网型的无纬带进行绑扎，以增加端箍单位面积的拉力，使升高片的并头套，在受到离心力的作用和电枢旋转与冲击负载以及过载时，使电磁力的振频控制到最低的限度。这样在包绕无纬带时，可将网状无纬带（2843-W 型）的拉力提高到 1100N（过去的拉力为 200N）。无纬绑扎是在绑扎机上进行绑扎的，并用传感器或拉杆秤控制绑扎拉力。无纬带绑扎后的干燥时间不少于 27h，干燥温度控制在 155℃左右，使无纬带绑扎后形成整体的玻璃钢箍状态。

措施（3）：换向器总装配及表面精车。

除上述对电枢升高片端箍进行改造加固外，还要对电枢与定子总装配的工艺进行适当的调整。比如，调整电枢表面与定子的气隙，使气隙均匀，减少电机单边的磁拉力，调整轴瓦的同轴度，减少电机自身的机械振动，按标准解决轴瓦的间隙、找正等。

在装配整体换向器的同时，还要检查和调整换向器的偏摆，对于3000kW直流电机换向器的偏摆按标准规定不应大于0.05mm。在精加工换向器的表面粗糙度应细于R_a0.8μm。精加工是在卧式车床上进行，使用钻石刀具一次加工成形。通过机加工等措施，严格控制精度，使电机自身的机械振动频率减弱，为防止升高片断裂创造良好条件。

3. 改进效果

经过改进修理后的电机，投入使用一直正常，升高片至今未发生断裂，火花在1¼级以下，电枢运转平稳，从而提高电机运行的可靠性。

四、换向器升高片根部大量断裂的修理

修理直流电机时，常碰到换向器升高片从根部断裂的故障。如果换向器磨损不多，尚未达到寿命，只是升高片根部大量断裂，可采取在原换向器上更换新升高片的简易修理办法，下面介绍这种修理工艺和步骤。

（一）烫开电枢绕组焊接头

1）对于锡焊的接头，可采用烙铁或喷灯加热，使电枢绕组端头与升高片脱开。首先做好原始记录，并且拆除端部绑扎的无纬带箍。电枢垂直放置在平台上，使升高片端朝下，用烙铁或喷灯加热焊接点，这样做可防止熔化的焊锡流入到绕组内。也可以放在转子支架上进行烫头，这时要使非换向器端稍抬高一些，并且从升高片侧面来熔化焊接头。

2）对于电枢绕组是氩弧焊接的，最好将电枢放在车床上，用车刀将升高片与线圈端头的焊接端面车去2~3mm（因氩弧焊接是点焊，一般是在每个升高片点焊3~5点，熔深只有2~3mm，然后再拆开焊接头。

（二）更换新升高片方法

1）如果换向器和电枢绕组质量良好，只需更换新升高片时，可将拆开的绕组端头撬开一个角度，离开升高片一定距离，然后将电枢放在车床上车去突出换向器表面的旧升高片（车到升高片伸出的根部为止），再用手持铣刀切出升高片根部的线槽。铣刀厚度应比升高片厚多0.1~0.2mm。铣出的槽深和槽高与原始情况相同。为此，在铣槽前应做好原始记录，测量原升高片嵌在换向器的深度和宽度，使新制的升高片能够顺利插入槽内。

2）对于硬绕组的电枢，不拆下换向器而使绕组端头与升高片焊接点脱离是困难的，因为硬绕组撬弯比较困难，会使绝缘破裂，这时必需拆下换向器处理。对于换向器上的原有升高片，可用扁铲剔下来，免去上车床操作。

在拆下换向器前，要将换向器与转轴、或与支架的相互位置以及电枢绕组端头与升高片之间的相互位置记录好。

（三）焊接方法

新做的升高片与换向片的焊接，可采用氩弧焊、银铜焊或锡焊。采用氩弧焊和银铜焊时，焊缝强度高、接触电阻小，可提高焊接质量。对于修理单位，推荐采用碳精加热方法施焊，因为加热点集中，便于控制热量。一般选用大电流发生器做可焊接电源：功率20~30kVA，二次电压6~14V，电流2000~3000A。可利用旧电机定子铁心或旧变压器铁心自行改制。电流密度选用2~3A/mm^2、磁通密度选用1.2~1.4T，二次绕组可用软电缆线，匝数可调，从而可调节二次电压和二次电流。

施焊时，要用浸湿的石棉纸或石棉泥将升高片焊接周围敷上，防止换向片因过热而退火。

如果采取锡焊时，可采用功率大的烙铁施焊，一般选用300~500W烙铁。烙铁形状要能插入升高片之间，呈平面，使被焊的升高片受热均匀。

焊接后，要检查升高片焊接是否牢固，升高片与换向片是否相互垂直，尺寸是否符合要求，有无烧损情况。

为了保证焊接质量，在施焊前，升高片要搪好锡，然后按照原始记录将电枢绕组端头插入相应的升高片内进行焊接。

另外，在施焊前，要对换向器测试检查片间电阻（电压降）和对地耐压，确信换向器质量后才能施焊。

施焊后，要测试片间电阻和电枢绕组的直流电阻值，再用短路侦察器检查绕组有无短路故障。

最后对电枢绕组端部进行绑扎无纬带和浸漆处理，以及做出厂试验。

五、直流电动机升高片齐根断裂的简易修理

直流电机升高片大量断裂有两种修理方法，一种

是将换向器从电枢上取下来，解体换向器，重新更换新的升高片。另一种是也取下换向器，但不解体换向器，直接在原位置上更换新升高片，电枢绕组如果完好，可以保留。

下面以实例介绍后者的修理工艺过程。

（一）修前情况

1. 电机铭牌数据

电机型号：ZD2-493/39-8BL，容量 320kW，电压 330V，电流 1035A，转速 750/1000r/min，他励，励磁电压 220V/110V。

2. 升高片故障情况

由于电机急剧的正反转、制动和负载机械：冲击，致使升高片根部在疲劳情况下，产生严重断裂，最后被迫停机。

该电机的升高片共有 138 片，测量断裂后的片间电阻归纳如下：

1）属于 0.03 ~0.04Ω 的有 85 片；

2）属于 0.05 ~0.06Ω 的有 18 片；

3）属于 0.06 ~0.09Ω 的有 10 片；

4）属于 0.09 ~0.10Ω 的有 12 片；

5）属于全部断裂的有 13 片。

正常的片间电阻值为 0.0085Ω。

（二）修理工艺过程

1. 拆前记录

由于电机运行时间较短，电枢绕组质量较好，所以在修复换向器升高片时，要保留电枢绕组，只是把换向器整体从电枢上扒下来。在扒下换向器前，要记录升高片伸出换向器表面的高度和尺寸，同时要记录好换向器与导线连接线位置以及换向器在转轴上的位置与电枢铁心相对的位置。

2. 扒下换向器

换向器结构如图 1-44 所示。

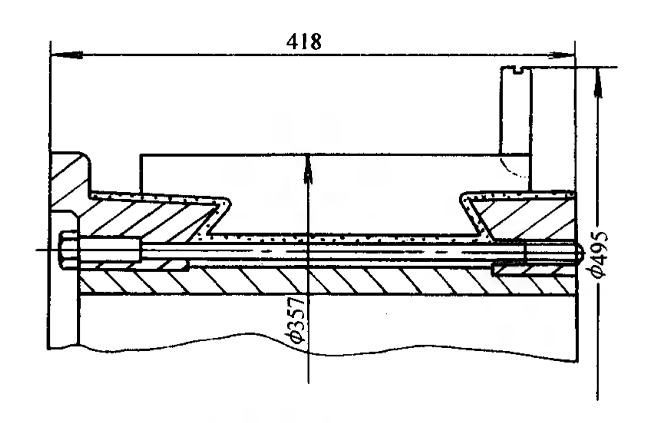


图 1-44 换向器结构

1）用尖嘴扁铲从升高片根部齐根铲断升高片，使电枢绕组接头与换向器升高片分离。在操作过程中，要防止线圈变形。

2）检查并记录键槽中心对准换向器的中心位置。

3. 换向器的升高片处钻孔及铣槽

1）将取下的整体的换向器立放在分度盘上（见图 1-45），此分度盘是利用铣床上的 350mm 回转工作台的分度盘，在摇臂钻床工作台面上固定好。

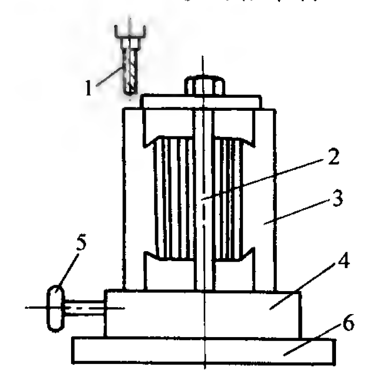


图 1-45 换向器固定在分度盘上

1—钻头 2—拉紧螺杆 3—换向器 4—分度盘 5—手柄 6—底座

2）检查换向器与工作台面的垂直度和紧固情况。

3）摇动分度盘手柄进行分度，每个换向片与升高片焊接处钻出直径为 4mm、深度为 17.5mm 的孔一个。

4）用铣床加工换向器槽有一定的困难，解决的办法是拆掉原有双臂刀杆支座，另装单悬臂刀杆。

5）考虑换向片分布不均问题，应采用手工差动分度办法。

6）铣槽时，要求槽口中心线与钻孔中心线一致，如图 1-46 所示。

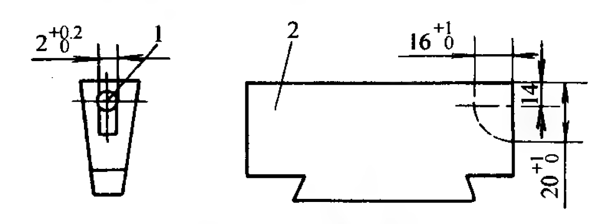


图 1-46 铣出槽口尺寸

1—铣出槽口和钻孔位置 2—换向片

4. 升高片制作及安装

1）升高片采用 1mm 厚的紫铜板制作，升高片的升高方向应和铜板的压延方向一致。

2）要求铜板下料尺寸准确，然后在模具上压成型，并压出铆钉孔形状和尺寸，见图 1-47 所示。

3）确定升高片尺寸时，要充分考虑线圈伸出端的椭圆度，为了便于套装，应使升高片上部与线圈焊接部位高出 1mm 长度，并采用开口形式，如图 1-47 所示。

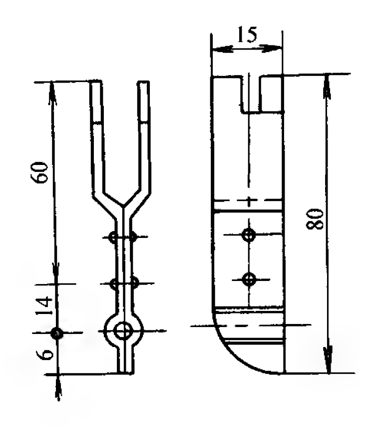


图 1-47 升高片尺寸

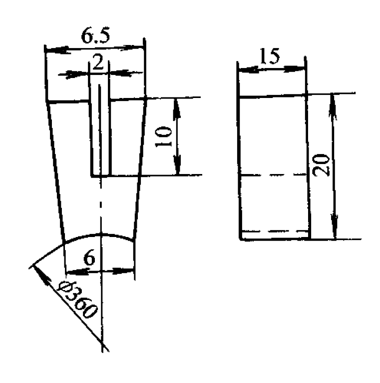


图 1-48 加固垫块尺寸

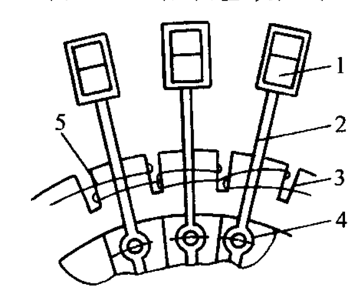


图 1-49 升高片根部加固和绑扎
1—导线 2—升高片 3—加固垫块
4—换向片 5—绑扎线

4）升高片施焊部位要搪锡，要求挂锡厚度在0.12mm左右，最后铆接成型。

5）升高片插入换向片的槽口前，要将铣出的槽口和钻孔后的钻孔毛刺清理干净，然后进行搪锡。

6）将升高片逐个插入换向片的槽口内，并检查升高片伸出换向器表面高度和垂直度。

7）用直径 ϕ2.5mm左右的镀锡铁钉打入升高片的孔中，将升高片与换向片接触部分涨紧，使其接触紧密。

8）最后进行焊接升高片，使升高片与换向片焊牢。

9）按原来记录，将换向器套回转轴的位置上。当升高片与线圈端头将要接触时，检查线圈端头与升高片位置是否吻合。如不吻合时，要调整线圈端头的位置，但要注意不使绝缘受损。必要时，可拆下一部分线圈的端部绑扎无纬带。最后使138片升高片全部与线圈端头吻合时，再继续压入换向器。

10）当换向器压入到原始位置后，线圈端头全部插入升高片的并头套内时，这时开始并合升高片的并头套。使套与线圈周围的间隙小于0.1mm左右，最后进行焊接。

5. 升高片根部加固

为防止升高片修后再次断裂，需要在其根部加固。加固方法如下。

1）制作加固垫块，采用环氧玻璃布板，按图1-48制作。加固垫块的槽口2mm宽，是铣出来的，ϕ360mm曲面是用粗锉锉出来的。要求制出的垫块形状与升高片根部形状相吻合。

2）彻底清理升高片根部的焊剂和锡瘤，打磨干净，使升高片露出金属光泽，再用酒精布擦拭干净。测试片间电阻，合格为止。

3）将固定垫块插入升高片槽口内（见图1-49），然后涂上“环氧胶”（环氧树脂6101号与650固化剂各50%，搅拌均匀，再用玻璃丝带绑扎2道，清除残胶。

4）测片间电阻。合格后在室温下放置24h，固化。

6. 换向器修后试验

该台换向器修理后经试验，直流电阻在（0.835 ~0.86）$\times 10^{-3}\Omega$ 之间，全部合格。

（三）结语

1）此法优点在于不解体换向器，因此不需拆换V形环端压圈，也不需压装等工序。保存电枢绕组，从而节省大量工时和绝缘材料，和以往解体换向器、剔片法比较，节省工时30% ~50%，材料费节省40%左右。

2）凡换向片厚度大于6mm，并且故障片数大于30%者，均可采用此工艺。

3）如果将此工艺应用在大中型换向器的升高片上修理时，建议升高片的钻孔可由1个改成2个，以增加机械强度。

4）该台直流机修复后投产，至今正常运行，证明此工艺的可靠性。

六、换向器零部件制作

（一）换向片制作

为了更新换向片或局部更换换向片，则需要解体换向器，为此要从转子上取下换向器。换向器在取下前要做好原始记录，如换向器外径、换向片与线圈焊接的相互位置、键槽位置、升高片外径等。然后用1

~2mm 厚的绝缘纸，将换向器包上，再用 2mm 厚薄钢板带或用钢丝将换向器捆紧、松开紧固螺栓，便可将换向器从转子上取下来。

从换向器上取出 1~2 片换向片和云母片做为样板，测绘出尺寸后开始备料。

配制的新换向片外形尺寸应与旧换向片相同，配制的新换向片材质应与原换向片相同，一般是采用冷拉梯形铜排制作的，修理单位因一时购不到，可用冷锻铜板代替。冷拉铜排的断面尺寸如图 1-50 所示。

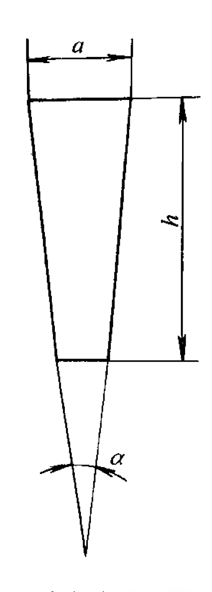


图 1-50　冷拉铜排的断面尺寸

新制作的换向片的鸽尾槽应与原有的换向片相同，粗糙度细于 R_a0.8μm。换向片按所需长度下料，校正其平面度，平面度用塞尺检查，换向片高度 h 在 18~30mm 时，每 7mm 间的最大缝隙小于 0.05mm；h 在 30mm 以上时，每 10mm 长度之间，最大缝隙为 0.08mm。

制作的换向片厚度 a 和高度 h 的允许公差见表 1-35 所示。

表 1-35　换向片厚度 a 和高度 h 的允许公差

换向片厚度 a/mm	厚度 a 的允许公差/mm		换向片高度 h/mm	换向片高度 h 允许公差/mm
	1T10	1T11		
3 级以下	-0.04	-0.06	10 及以下	-0.10
			1.05~18	-0.20
3.01~6	-0.05	-0.08	18.5~30	-0.30
6.01~10	-0.06	-0.10	30.5~50	-0.60
			50.5~80	-0.80
10.01~18	-0.07	-0.12	80.5~150	-1.0

为了检查换向片制作尺寸是否符合要求，需用 3mm 左右厚的钢板按原换向片尺寸做出样板。新换向片下料长度要留出加工量，所以要比原升高片长些。每个配制的换向片要在平台上校正，研平端面，按 90°锉齐端面。

加工合格后，在铣床上加工升高片槽口，要求槽口中心线与铣刀片厚度的中心线重合，槽口中心线对换向片截面中心线不允许超过 0.15mm，槽宽公差不大于 0.20mm，槽长和槽深误差不超过 1mm。

铣出槽口后，先要清理槽口表面毛刺，用细砂布打磨光滑，去除油污。然后槽口搪锡，要求锡层均匀，无锡瘤和毛刺。

（二）V 形云母环制作

制作 V 形云母环的材料通常是采用含胶量在 15%~25% 的虫胶塑性云母板（5231 号，5233 号，5238 号）和醇酸塑性云母板（5230 号，5232 号）制作。目前为了降低造价，改用环氧酚醛玻璃布板制作，但由于它的耐电弧性较差，重要的大型电机仍用 0.15~1.25mm 厚的塑性云母板制作。

V 形云母环制作工艺过程包括：毛坯计算，下料，初步成型，模具预热，半压成型，烘熔，全压成型，冷态脱模，质量检查等工序。

1. 下料尺寸计算

V 形云母环是用扇形片组成并经烘压成为整体的，因此要正确计算扇形片下料尺寸。图 1-51 是 V 形云母环的扇形展开图及其断面形式。

扇形圆弧对应的中心角

$$\beta = 2\pi\sin\frac{\alpha}{2} = 2\pi\sin3° = 18°50'$$

扇形片外径

$$R = \frac{\frac{D_1}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}} + e = \frac{\frac{D_1}{2}}{\sin3°} + 10 = 9.55D_1 + 10\ (\text{mm})$$

扇形片内径（mm）

$$r = R - (a + 3.2r_1 + r_2 + 1.15b + c + 20)$$

扇形片外圆弦长

$$A_1 = 2R\sin\frac{18°50'}{2} + (4\sim10) = 0.327R + (4\sim10)\ (\text{mm})$$

式中　4~10——取值范围，直径 D_1 小者取小值，反之取大值；

α——圆锥顶角，α=6°。

扇形片内圆弦长

$$A_2 = 2r\sin\frac{18°50'}{2} + (4\sim10) = 0.327r + (4\sim10)\ (\text{mm})$$

为避免在热压时出现皱折和在30°面上增厚，还要在扇形内圆弧处均匀地切出切口。

$$切口距 \quad M=\frac{0.329r+(4\sim10)}{z}$$

式中　z——切口数，查表1-36。

$$切口尺寸 \quad g=\frac{0.329r-\pi(D_2-20)}{z}$$

$$切口长： \quad l_1=R-(r+a+10)$$

$$l_2=2.6r_1（不少于6mm）$$

按上面计算出的尺寸，先画出样板，并用剪刀剪成图样，然后按此样板下料。

2. 云母环压型

云母环压型一般要经过毛坯预热、初压成型、半压成型、全压成型等4道工序，最后进行产品质量检查。表1-37是V形虫胶云母环烘压规范示例。

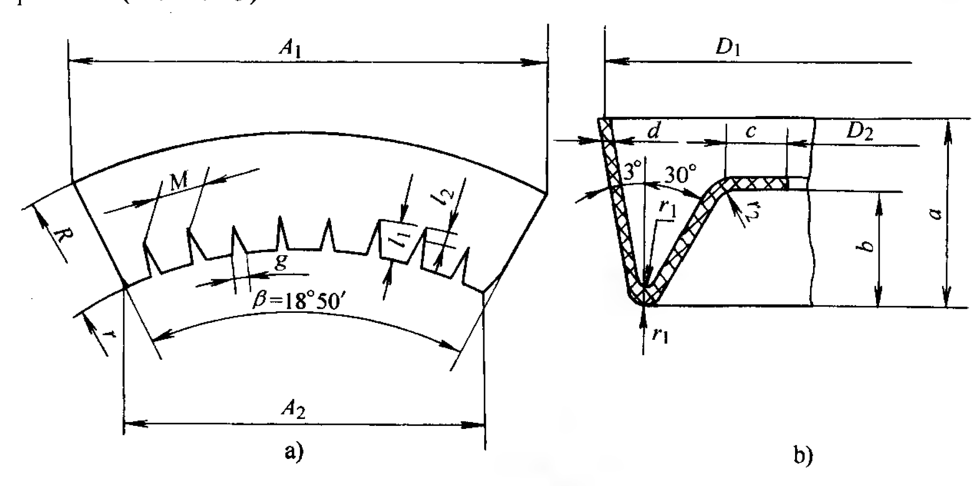


图1-51　V形云母环的扇形展开图及其断面形状图
a）V形云母环的扇形展开图　b）V形云母环的断面形状

表1-36　胚料切口数与V形环直径的关系表

直径 D_1/mm	60以下	60~90	90~130	130~170	170~220	220~280	280~400	400以上
切口数 z	8	10	16	20	26	32	40	48

表1-37　V形虫胶云母环烘压规范示例表

云母环直径/mm	成型阶段			第一次烘压				第二次烘压				脱模温度
	毛坯加热温度/℃	加热时间/min	模具温度/℃	加热温度/℃	保温时间/h	压力	热压	加热温度/℃	保温时间/h	压力	热压	
<400					0.1		✓		2		✓	
400~850	90~100	1~1.5	室温	130±5	1	半压	✓	165±5	2.5	全压	✓	室温
>860					1.5		✓		3		✓	

注：✓——表示进行热压。

首先将剪下来的扇形片的单面上涂上虫胶漆，根据所需厚度确定出叠片的层数。在确定厚度时还要考虑云母板收缩率15%，玻璃坯布的收缩率为30%。

首先把所需的每层扇形片的切口错开1/4~1/2，放在涂有石腊的温度为120℃的热平台上软化，然后趁热将其围在下模4上，见图1-52。在其外面包上一层玻璃纸，用带子捆起来。用手快速地将切口处云母板弯成V形，再将模芯2压住云母环，使云母环在压模内初步成型。如果采用玻璃坯布作V形云母环时，要在玻璃布层内加入1~2层薄膜，以防止流胶和提高耐压强度，并且使用这种材料可以把成型和热压两道工序合并一道工序。然后模具加热到160~170℃时涂脱模剂，把V形云母环放在压模上弯好。最后加上上压模1，压紧，并在热压床上加热，进行热压。

进行热压成型时，是先加半压，即按计算所得的压力的一半进行热压。首先将压模预热，对于虫胶云母板，压模要预热到140~160℃；对于环氧玻璃坯布，压模要预热到100~120℃。预热时间要按模具尺寸而定，目的是使压模热透为止。一般是在烘箱内预热，达到温度后取出压模，对正后，便在压床上加

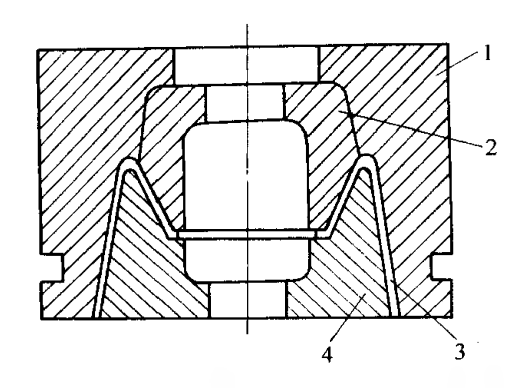


图 1-52　V 形云母环烘压模示意图

1—上模　2—模芯　3—云母环　4—下模

压，压力大小，按下式计算：

$$p = p \times \frac{\pi}{4}\left(D_1^2 - D_2^2\right)$$

式中　p——单位面积上的压力，一般取 25～30MPa；

$\frac{\pi}{4}\left(D_1^2 - D_2^2\right)$——V 形云母环表面在水平面上的投影面积（$m^2$）；

D_1、D_2——云母环外径、内径（mm），见图 1-53。

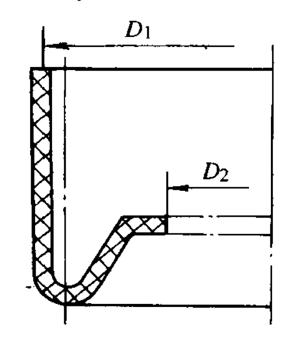


图 1-53　V 形云母环的示意图

取上式计算出来的一半值进行加压，经 1min 左右去掉压力，把云母环和压模一起送入加热烘箱内加热。箱内温度为 240～300 ℃，烘干时间按下式计算：

$$t = t_1 + t_2 \ \text{(min)}$$

式中　t_1——云母环所需聚合反应时间；

t_2——模具热传导时间，与模具直径有关，见表 1-38。

表 1-38　模具热传导时间 t_2 与模具直径的关系

模具直径/mm	≤150	≤220	≤300	≤350	≤400	>400
t_2/min	5	10	15	20	25	30

烘干达到所需时间后，先将模具取出，放在压床上加全压；然后待冷却后脱模。

对于玻璃坯布热压工艺与上述相仿，模具预热温度为 100～120 ℃，炉温为 160～180 ℃，时间仍按上式计算。

热压的 V 形云母环应成为整圆结构，表面应光滑、无皱纹、无裂缝和无机械损伤，用木锤敲击应发出金属声。壁厚要均匀，30°面壁厚容许偏差不超过 ±15%，个别点和平均值容许偏差为 $^{+0.15}_{-0.10}$mm，3°锥面壁厚容许偏差不超过 $^{+20}_{-10}$%，个别点和平均厚度的容许偏差为 ±0.15mm。耐压试验应达到要求，表 1-39 是 V 形云母环耐压试验要求。

表 1-39　V 形云母环耐压试验要求

V 形绝缘厚/mm	1	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
试验电压/V	5500	5500	6500	8000	11000	11000
试验时间/min	1	1	1	1	1	1

（三）云母板加工

通常要求换向片间的绝缘云母片的材质要有弹性，厚薄均匀，在高温下收缩率小，硬度合适，耐高温和耐电弧。为此，常用的材料是 B 级 5531 虫胶粘合的白云母板，含胶量为 4%～6%，厚度收缩率为 5%～7%，耐压强度不低于 18kV/mm²，但由于硬度大于铜片，所以需要事先下刻工序。在 F、H 级绝缘等级的电机中，已采用磷酸铵换向器云母板或硅有机换向器云母板，含胶量小于 10%，收缩率在 160 ℃时小于 1%，平均耐电压强度不低于 18kV/mm²。

云母板的厚度有 0.1、0.8、1.2mm 等几种，厚度公差不应超过 ±0.04mm。在电机修理单位，云母板的下料是在剪床上剪成条料。剪切的条材在宽度和长度方向允许公差为 +1.5mm。要求切口平行，两边成直角。

（四）升高片制作

一般换向器的升高片采用紫铜板制作，按原来升高片的尺寸下料，裁出所需的宽度和长度，打磨掉毛刺。砂面去垢后用手工在简易的模具内弯成型。与导线焊接部分的尺寸是先用钢板制成的模芯；然后用手锤在铁平台上敲出所需的形状。升高片如果是铆接的，可采取图 1-54 所示的专用工具进行制作。

升高片的圆弧是采用图 1-55 所示的工具锤击冲出的。最后在升高片需焊接的部位进行搪锡。

升高片与换向片的连接，目前大多数是采用磷银铜焊接代替以往的铆接，优点是熔点高，机械强度好。磷银铜焊设备也简单，是采用大电流变压器，容量 20kVA，二次电压 6～14V，二次电流 2000A 左右，

见图 1-56。

施焊时，将磷银铜焊条放在槽口端部使其熔化，靠焊条本身的流动性填满升高片与槽口内。

为防止焊接退火，降低换向片工作面强度，在施焊时可将换向片的工作部分浸入水中。为了提高可靠性，还可以选用料 303 银铜焊料。这种焊接的换向器可用于 H 级电机。

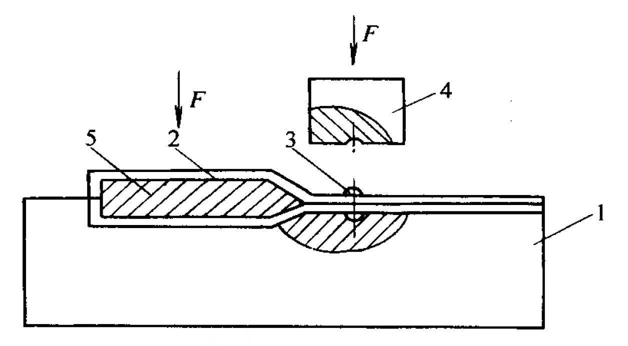


图 1-54　升高片铆接工具示意图
1—下模　2—升高片　3—铆钉
4—上模　5—模芯

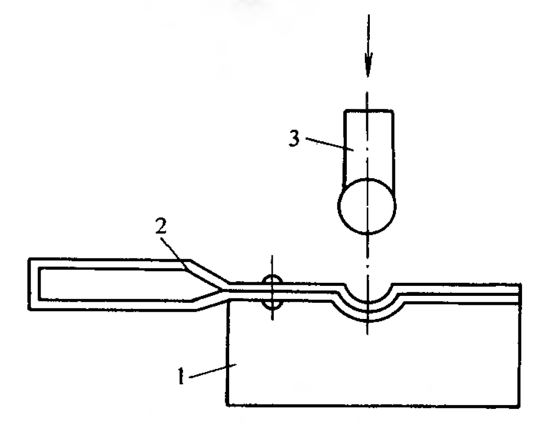


图 1-55　升高片弯圆弧工具示意图
1—下模　2—升高片　3—上模

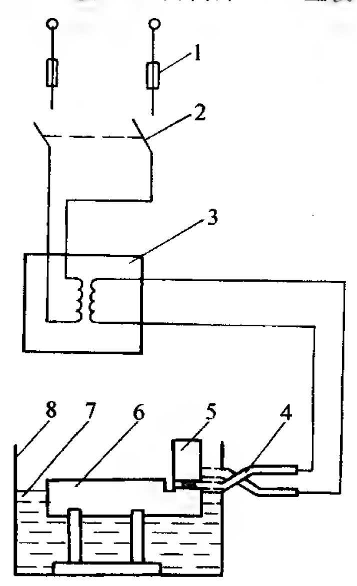


图 1-56　换向片和升高片的磷银铜焊
1—熔断器　2—开关　3—变压器　4—碳精钳
5—升高片　6—换向片　7—水　8—水箱

焊后，换向片工作表面的硬度不应低于 HB60。要检查升高片与换向片之间的夹角应为 90°，焊接过程要用直角尺检查。还有些修理单位采用熔焊、氩弧焊和激光焊接等，这些焊接对质量也可保证。

七、换向器装配

（一）换向器一、二次装配

1. 第一次装配

第一次装配也叫片装。这道工序主要是使换向片和云母片烘压成一整体。为了保证每个极距内的换向片数目相等，应事先将换向片和云母片按极数进行分组。为此首先擦拭换向片和云母片，去掉灰尘和油垢，按分组把换向片的大小端交替地放于装压平台上，用直角尺检查和校正换向片的四面，要求换向片应垂直于平板，在 15 ~ 20MPa 的压力下测量换向片的高度。用同样方法测出绝缘云母片的高度。

按所测的换向片和云母片的各组高度进行搭配，使每极距下的换向片和云母片的总长相等，片数相同，允许公差小于 1/4 的换向片厚度。按分组编号进行排圆和压装工作。

压装工具采用图 1-57 所示的圆锥形压装工具。压瓦用铸铁制成，分瓣处斜 20°左右，其数目由换向器大小而定。压圈是用钢材制作的，压圈与压瓦的接触面的锥度取 3° ~ 5°。

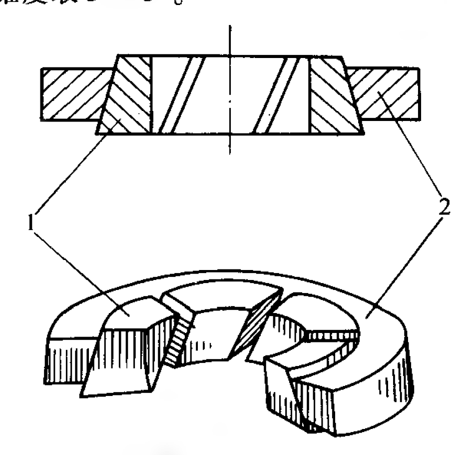


图 1-57　圆锥形压装工具示意图
1—分瓣压瓦　2—压圈

准备好底盘和压块工具后，要在瓦块内圆放 2 层 0.5mm 厚的斜切口互相错开 180°的环氧玻璃丝布板或绝缘板。然后将换向片垂直于底盘放在压瓦拼成的圆环内，使升高片朝上。每放一片换向片，就接着放一片云母片，直到全部的换向片数为止。放后，要仔细检查片数，和换向片与云母片相隔的规律，不可错片。用直角尺检查换向片对底盘的垂直度，沿圆周方

向和垂直方向的倾斜度，在长 200mm 以下时，不超过 1mm；在 200 ~ 400mm 时，不允许超过 1.5mm。

如果排圆时发现换向器外径超过公差，可调云母片的厚度，用较薄的云母片替换下原有较厚的云母片。在压装过程中要重复校正换向片的垂直度。最后，将装配在模具中的换向器一起吊到油压机上加压。如果修理单位没有大型油压机，对于直径较大的换向器亦可用图 1-58 所示的径向螺柱加压法。

施加在压圈上的压力计算如下

$$F = 1.11 \times 2\pi Sp\mathrm{tg}\ (\alpha + \rho)$$

式中 p——换向片侧面单位面积压力，一般取 30 ~ 35MPa；

S——换向片的侧面积（m^2）；

1.11——修正系数；

α——压圈及压瓦的斜度角，一般为 3° ~ 5°；

ρ——压瓦与压圈之间的摩擦角，对于铸铁及钢压圈，一般摩擦系数为 0.3 ~ 0.4。

当 $\mathrm{tg}\rho = 0.3 \sim 0.4$，$\rho = 16° \sim 22°$，$\alpha = 4°$时，并取 $\rho = 22°$，$p = 35\mathrm{MPa}$，则上式可简化为

$$F = 1.11 \times 2\pi S \times 35\mathrm{tg}\ (4° + 22°)\ = 119S\ (\mathrm{MN})$$

采取此法，压力均匀，可靠性高，能保证圆度，操作方便。

采用径向螺柱加压法，可省去大压力的压床，但要求操作技术高。为了保证片间产生足够的压紧力，所施加的力矩可按下式计算

$$M = 1500\frac{d}{m}pS\ (\mathrm{N \cdot m})$$

式中 d——螺柱直径（mm）；

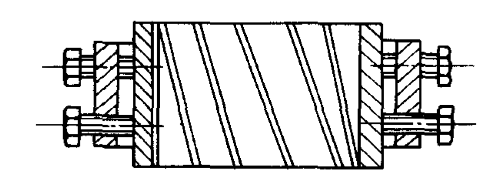
m——螺柱个数；

p——单位压力（MPa）；

S——换向片侧面积（m^2）。

在具体操作时，要求扭紧螺柱加压的压力要均匀，否则换向片移动造成不垂直。冷压后，用交流 220V 电压串入 60W 灯泡做片间绝缘检查，灯不亮者为合格。

换向器第一次装配烘压规范按表 1-40 进行。



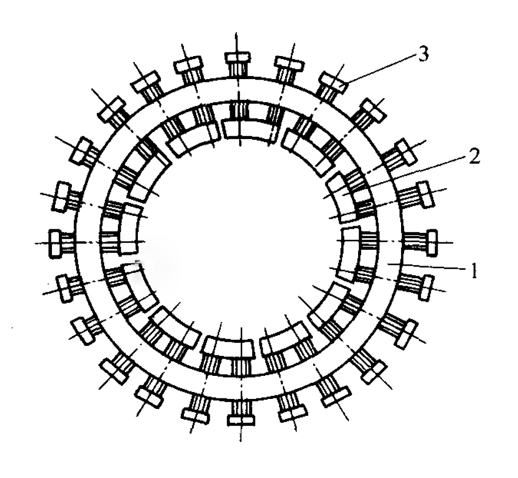


图1-58 径向螺柱加压法的装压工具图
1—支圈 2—瓦形块拼环 3—压紧螺钉

2. 第二次装配

第二次装配是在换向片与云母片烘成整体的基础上，再经反复烘压，使各片间充分压紧，完成胶粘剂的聚合作用，保证换向器运行的稳定性。换向器第二次装配烘压规范见表 1-41 所示。

表 1-40 换向第一次装配烘压规范

<table>
<tr><th rowspan="3">换向器
直 径
d/mm</th><th rowspan="3">冷压</th><th colspan="5">第一次烘压</th><th colspan="3">第二次烘压</th><th colspan="3">第三次烘压</th></tr>
<tr><th colspan="2">烘熔温度 t°/℃</th><th rowspan="2">烘培
时间
/h</th><th rowspan="2">热压</th><th rowspan="2">冷压</th><th rowspan="2">烘焙温度
及时间</th><th rowspan="2">热压</th><th rowspan="2">冷压</th><th rowspan="2">烘焙温度
及时间</th><th rowspan="2">热压</th><th rowspan="2">冷压</th></tr>
<tr><th>5535 虫胶
换向器
云母板</th><th>5560-2 磷
酸胺换向
器云母板</th></tr>
<tr><td>250 及以下</td><td>✓</td><td rowspan="5">160 ± 5</td><td rowspan="5">210 ± 5</td><td>3</td><td>✓</td><td>✓</td><td rowspan="5">同第一次
热 压</td><td>✓</td><td>✓</td><td rowspan="5">同第一次
热压</td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td>215 ~ 400</td><td>✓</td><td>4</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td>401 ~ 650</td><td>✓</td><td>5</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td>651 ~ 1350</td><td>✓</td><td>6</td><td>✓</td><td></td><td>✓</td><td></td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td>1351 ~ 2500</td><td>✓</td><td>7</td><td>✓</td><td></td><td>✓</td><td></td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
</table>

表 1-41　换向器第二次装配烘压规范

换向器直径 d/mm	第一次烘压						第二次烘压			第三次烘压		
	烘熔温度 t/℃			烘培时间/h	热压	冷压	烘熔温度及时间	热压	冷压	烘熔温度及时间	热压	冷压
	B级绝缘	F级绝缘	H级绝缘									
250及以下	160±5	180±5	210±5	3	✓	✓	同第一次烘压	✓	✓	同第一次烘压	✓	✓
215~400				4	✓	✓		✓	✓		✓	✓
401~650				5	✓	✓		✓	✓		✓	✓
651~1350				6	✓			✓			✓	✓
1351~2150				7	✓			✓			✓	✓

在每次装配过程中，需进行3回热压和3回或4回冷压。

片装完成后要进行换向器的V形槽加工，中小型换向器在卧式车床上加工，大型的在立式车床上加工。为了保证加工质量，一般是采用四爪卡盘夹装换向器，用四爪卡盘夹住压紧工具扇形块外圆的圆柱部分，以换向器外圆及端面为基准找正，车出第一面V形槽，并把端面车光，同时车出一段5mm长止口。然后将换向器调头，利用换向器端面和止口与车床夹具止口配合，用四个螺杆拉紧压圈，车制第二面V形槽。车刀要锋利，进刀量和走刀量要小，切削速度要高，一般为80~120m/min。

对于V形槽加工质量要求如下：

1）两端的V形槽应保持同轴和平行，同轴度偏差不大于0.03mm。

2）V形槽形状要精确，角度准确。用样板检查时，30°锥面和样板不应存在间隙，3°锥面容许有0.05~0.1mm间隙。V形槽表面粗糙度细于 $R_a3.2\mu m$。

3）无毛刺，无片间短路和接地现象。

（二）换向器总装配

换向器车制V形槽后，检查垂直度和片间短路情况。同时要确认各部尺寸符合要求后，则进行总装配工作。

首先将套筒垂直立放于装配平台上，套上V形云母环；然后把带有烘压工具的换向器套在套筒上，使升高片端朝下放置。在套装时要注意先使云母片中心线与套筒键槽中心线对齐，再在V形槽内放上另一个V形云母环。在套筒上安放好前压圈，并装好螺栓，对称拧紧。把3°锥面的周围间隙和换向器表面先用白布临时包住，以防止金属颗粒、灰尘进入V形槽内；然后用划针盘，检查换向器端面与压圈端面的平行度，其偏差不大于1mm。

压床施加于换向器压圈的压力，按下式计算：

$$F=1.81p_2S_2$$

式中　F——压床给予换向器压圈上的压力（MN）；

p_2——总装时换向片间单位面积压强（MPa）；

S_2——车过V形槽后的换向片的侧面积（m^2）。

在施压时，应控制装配压力 p_2 在20~28MPa内。烘压完毕后，拧紧螺母，去掉压装工具，进行3°锥面和外露云母绝缘的密封工作，用无纬带包扎外露部分，半涂环氧树脂胶。最后半精车换向器外表面。

八、动压成型和热超速试验

对于具有下列情况的换向器，可考虑作动压成型和热超速试验：

1）换向器使用在重要生产岗位上，连续生产，不允许经常出现故障；

2）大型可逆电动机的换向器；

3）换向器圆周速度大于15m/s；

4）两段换向器结构；

5）为了考验和验证换向器质量时采用。

动压成型是在专用的动压成型设备中使换向器加热并旋转，在离心力作用下，迫使换向片的鸽尾压紧在V形云母环上。从而解决烘压过程处理不完善所造成运行中的凸片问题。超速试验是使换向器转速达到额定转速的1.25~1.35倍，考验换向器的机械强度和质量的稳定性。

作动压成型前，要求半精车换向器表面，并校好平衡，装在假轴上。放入动压设备后，在冷态下用千分表测量换向器外圆跳动值，并作记录。换向器转到所需转速的一半时，进行均匀加热，在2h内升到

(125±5)℃，保持不变，再将转速提高所需最高转速，旋转 2h。停车后，复测换向器外圆的跳动值，与冷态下测出值比较，应小于 0.03mm 者为合格。

第二次动压成型是和超速试验一起进行。开始时与第一次相同。当温度达（125±5）℃后保持 1h，停止加热，把转速升到 1.25～1.35n_N，保持 5～15min。停车后，测量换向器外圆，不应小于冷态下测量的 0.03mm。

做此试验，要注意安全，以防换向片飞出伤人。

第十二节　直流电动机绕组故障修理

一、定子绕组常见故障及检查

常见的定子绕组故障有绝缘电阻降低、匝间短路、断路、接地（对地击穿）以及绕组连接极性接反等。

（一）励磁绕组绝缘电阻降低

1. 故障原因

1）绝缘表面有污垢和碳粉；

2）绝缘受潮；

3）绝缘老化。

2. 检查方法

采用绝缘电阻表测量绕组绝缘，有以下几种情况。

1）绝缘电阻为零，但用万用表测量时，还有指示，说明绕组绝缘没有被击穿，采用清扫吹风办法，有可能使绝缘电阻上升。

2）绝缘电阻为零，改用万用表测量也是零，说明绕组已接地，绝缘已对地击穿，可将绕组连接线拆开，分别测量每个磁极绕组的绝缘电阻，可发现某个极包绕组对地，其余完好，重点烘干处理这个接地故障的磁极绕组。

3）所有磁极线圈的绝缘电阻均为零，虽然拆开连接线，测量结果普遍的绝缘电阻低。处理方法是绕组经清扫后，绝缘材质没有老化，可采用中性洗涤剂进行清洗，清洗后烘干处理。

（二）励磁绕组匝间短路

由于励磁绕组线圈匝数较多，少量的匝间短路，故障现象不明显，电机可以运行一段时间。当短路匝较多时，电机会产生振动、绕组发热或冒烟、励磁电流剧增，绝缘有被烧焦的痕迹。

1. 故障原因

1）线圈绝缘表面积满灰尘和油污，使匝间短接。

2）制造或重绕修理时，线圈的过渡匝有 S 弯，需垫入绝缘加强，由于操作不当在 S 弯过渡处的绝缘被挤破或遭受损伤，造成在 S 弯处匝间短路。

3）首末匝过渡处要加强绝缘，因首末端是全电压，电压比较高，不加强绝缘或加强的不够，则会在首末端相邻的线匝处短路。这种故障在修理直流机常碰到。

4）搬运或检修过程中，励磁绕组遭受机械损伤。

2. 检查方法

一般修理单位是采用交流压降法进行检查。这种方法优点是不需抽心和将励磁绕组拆开，先通过调压器给励磁绕组两端通入单相交流电，然后用交流电压表的触针分别测量每个极包的电压降，不存在短路故障时，各极包线圈的电压降几乎相等；如有个别线圈电压降值很低，则说明这个极包线圈有短路故障。

拆开与这个极包线圈的连线，给此极包通入交流电压，用交流电压表的触针进一步查找这个极包的每匝电压降，如果发现某匝间的电压降值很低，说明匝间的故障点被找到。为了证明这点是短路点，可察看这个极包表面有无烧焦痕迹；也可用大电流通入此极包，断电后用手摸或用点温计测出准确的短路点。

（三）励磁绕组接地

励磁绕组或其他定子绕组接地时，接地保护会动作、报警，接地严重时（如两点及以上接地）则绕组因局部短路而发热烧毁。

1. 故障原因

1）线圈对铁心的主绝缘落入导电粉尘、油污，绝缘缝隙中进入脏物，使线圈对地击穿，造成线圈接地。

2）线圈对铁心松动（由于对地绝缘老化收缩、浸漆粘结不牢或绝缘老化所致），对地绝缘遭到磨损，最终发生线圈对地击穿。

3）绕组受潮，绝缘电阻很低，在过电压作用下，发生线圈对地击穿。

2. 检查方法

采用绝缘电阻表进行检查，采用万用表核对，以区别绕组是绝缘受潮还是绕组确实接地。

如果证实绕组确实是接地，第二步便是拆开各极的连接线，每个线包单独测试检查，把接地的线圈查明。

查出的故障线圈要明确准确的接地点，为此第三步是采用220V试灯或较高的电压加在线圈两端，接地点会产生火花或烟雾，按此可查明准确的接地点。

（四）绕组断路及接反

1. 励磁绕组断路

可用220V试灯或绝缘电阻表检查，也可用万用表检查。

断路点多发生在焊接点和引线处，比较好找。

由于绕组断路不通，所以没有励磁电流，电机不能起动。对于复励电动机，当并励绕组断路时，接通电源只有串励绕组，要注意产生“飞车”事故。

2. 励磁绕组接反

电机起动困难、转矩降低，甚至不能起动。

检查方法是在励磁绕组中通入10%左右的励磁电流，用指南针靠近磁极端部测试极性，从而可查明接反的线圈。

线圈极性接反故障常是在电机检修后，由于原始记录疏忽而造成的。

补偿绕组和换向绕组故障，可参考上述检查方法进行检查。

（五）励磁线圈匝数不准的查找方法实例

某串励直流电动机的励磁线圈重绕后，匝数不准确，为此要进行检查。

采用交流电压降法测试每个线圈的电压降，如果某线圈有匝间短路或匝数绕制不够时，则电压降比正常线圈要降低。

下面是12.2kW串励直流电动机定子的4个励磁绕组线圈，将磁极铁心和励磁线圈同时取下来，线圈仍套在磁极铁心内，放在洋灰地板上（不要放在导磁的材料上，如铁板）将4个励磁线圈串联，用150V单相交流电通入，电流为60A，测量结果如图1-59所示。

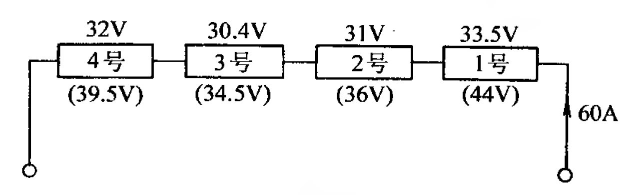


图1-59 励磁线圈串联后加电压

1号线圈的电压降为33.5V；2号线圈的电压降为31V；3号线圈的电压降为30.4V；4号线圈的电压降为32V。

经过重新调整线圈匝数和重绕检修之后，这4个线圈的电压降测量结果如图1-60所示。

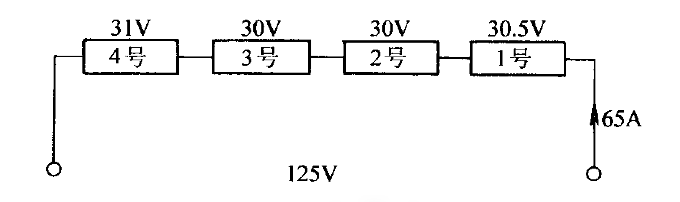


图1-60 重新调整匝数后试验

检修后每线圈的电压降基本一致。

在做此检查试验时，不要把励磁线圈放在铁板或铁平台上，否则测量不准。图1-59中括弧内的电压降值是在铁平台测量的结果。

另外，励磁铁心要放在线圈中间，铁心与线圈的四周间隙要均匀，以免产生测量误差。

二、励磁绕组故障修理

励磁绕组修理分两种，一种是局部处理，另一种线圈重绕。

（一）局部处理

1）线圈短路点发生在线圈表面几匝时，可先剥开外包绝缘层，把短路线匝去掉，然后用同规格的导线焊上，补绕匝数够后，焊接好引线，重新包扎外部绝缘，并涂漆处理。

2）线圈断路点是因引出线脱焊时，可补焊后包扎绝缘处理。

3）找到线圈的接地点在槽口或绝缘表面，则可用绝缘垫垫上，进行局部处理。

（二）线圈重绕

线圈重绕的理由是绕组采取局部处理方法不能解决，比如线圈绝缘老化、线圈短路点发生在线圈内部，并且已短路许多线匝；线圈接地故障已使线圈烧毁等，均要重绕线圈修复。

1. 拆除磁极

为了重绕线圈，必需将磁极取下，拆下线圈，在拆除前要做好原始记录。

1）测量径向相对磁极中心处的径向距离和各磁极间距离，做好记录。

2）对各磁极标志记号，以便安装时“对号入座”。比如各磁极线圈出线方向和安装位置等要记好。

3）记录各磁极线圈的连接，以及各引线标志，绘出接线草图。

4）测出各磁极的极性。

5）拆除磁极固定螺栓和各连接电缆线，取下磁极。这时要详细记录各磁极和机座之间的垫片情况（包括垫片数量、片数，材料是有磁的还是无磁的），

这些垫片厚度、材料等决定磁场强弱，影响换向性能，尤其换向极下的垫片。

重绕线圈之后，要按原始记录把各种垫片安放好。

6）把拆下的磁极上的线圈进行拆除，首先取下线圈支撑、上绝缘托板、线圈、下绝缘托板等。做好记录。

2. 拆除励磁线圈

1）记录各线圈的导线规格、并绕根数、匝数、层数、绕线方向、每层匝数。要边拆边记。

2）记录线圈首尾匝加强绝缘情况。

3）记录线圈的绝缘垫圈个数、材料规格、尺寸和安装部位。

3. 绕制励磁线圈

首先将绕线模安装在绕线机上。检查绕线机动作是否灵敏，记圈器调零、空车试转。待合格后，才能开始绕线。检查导线规格，并用线夹将导线拉紧，使拉力合适。在绕线模上预放几根扎带后开始绕线。要求导线排列整齐、紧密，用打板随绕随整形，在达到一定层数后要将各边扎带回折一次，在最后一层要用扎带压住最后一匝导线，以防止线圈脱模时松散。

起头、完头的固定方法是先采用双折的玻璃丝带做一个圈扣，再用 5～10 圈导线压紧，然后将起、完头穿入圈扣后拉紧。

线圈绕完后，先将引线位置的导线绝缘刮净后进行搪锡，焊上搪过锡的铜片做为接线片，在接线片与导线之间垫上绝缘。然后在线圈最外层半叠包一层云母带和玻璃丝带。最后作直流电阻测量，应与原始记录相符，外形尺寸也要符合要求。

最后进行浸漆和烘干处理。

4. 极身绝缘结构及修理

（1）磁极极身绝缘结构　中小型电机励磁绕组一般采用框架式极身绝缘，极身绝缘先包在框架上；然后套入线圈。其极身绝缘结构如图 1-61 所示。中大型电机励磁绕组多采用烫包式极身绝缘，极身绝缘先烫包在主极铁心的四周；然后套入线圈。其极身绝缘结构如图 1-62 所示。

为了解决线圈松动和线圈的导热性能，修理单位常将线圈对地绝缘板之间垫入适形毡，使线圈与铁心之间粘结成一个坚固的实体，从而杜绝线圈与铁心之间的松动和提高散热能力。绝缘适形毡外观白色，类似棉花的纤维类疏松易吸绝缘漆的材料，当它经浸漆干燥后变成坚硬的实体，将线圈和铁心牢牢地粘结在一起，从而提高了线圈的导热性和机械强度，保证电机的安全运行，其结构如图 1-63 所示。

（2）极身绝缘修理　串励线圈匝数较少，一般采用双玻璃丝包扁线绕制，其层间、匝间不另加绝缘。当用裸铜扁线绕制时，需垫入或绕包匝间绝缘。当匝间发生短路时，可先将短路处局部的烧焦绝缘用薄刀片剔除；然后按原有绝缘材质相同的材料剪成所需形状插入匝间的缝隙内，并涂以环氧树脂胶，其中要楔紧；最后经固化后，表面涂刷一层灰瓷漆即可。

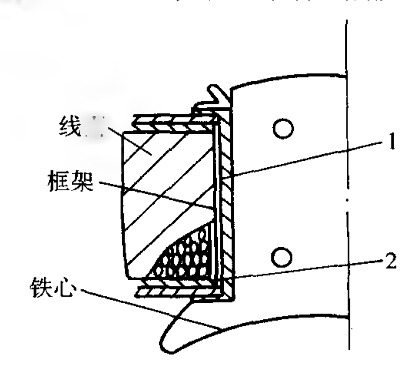


图 1-61　磁极极身绝缘结构图（框架式）
1—0.25mm 厚 DMD 绕包 2¼层（B 级绝缘）
或 0.22mm 厚 NHN 绕包 2¼层（H 级绝缘）
2—环氧酚醛层压玻璃布板（B 级绝缘）
或有机硅层压玻璃布板（H 级绝缘）

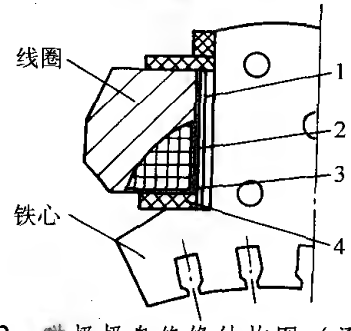


图 1-62　磁极极身绝缘结构图（烫包式）
1—0.16mm 厚环氧酚醛上胶玻璃布板围包 1¼层（B 级绝缘，500V）或 0.2mm 厚环氧酚醛上胶玻璃布板围包1¼层（F 级绝缘，1000V）
2—0.2mm 厚环氧粉云母箔绕包2¼层（B 级绝缘，500V）或 0.25mm 厚有机硅玻璃柔软云母板和 0.05mm 厚聚酰亚胺薄膜先后各绕包2¼层（B 级绝缘，1000V）
3—0.16mm 厚环氧酚醛上胶玻璃布板绕包1¼（B 级绝缘，500V）或 0.20mm 厚环氧酚醛上胶玻璃布板绕包 1¼层（F 级绝缘，1000V）
4—环氧酚醛层压玻璃布板（B 级和 F 级绝缘相同，500～1000V）

如果匝间绝缘全部老化，则要更换匝间绝缘。为此，先要清除线圈的旧绝缘，可以把取下的线圈放在加热炉内加热，温度控制在35℃左右，待绝缘老化后取出，再用电工刀清除掉旧绝缘。然后将线圈吊在支架上，使各匝分开一定间隔，用砂布打磨铜线上毛刺、棱角和锈斑。清理干净后，先将线圈套在整形模上，冷压整形，使各匝平整、服贴在一起。然后将线圈仍吊挂在支架上，使各匝分开一定间隔，把裁制好

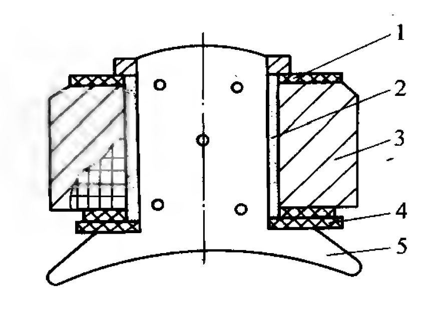


图 1-63　改进对地绝缘结构

1—绝缘板　2—绝缘材料和适形毡

3—线圈　4—绝缘板　5—铁心

0.1mm 厚的环氧玻璃坯布垫放 3 层，接缝要错开，同时起头、完头要加强绝缘，并半叠包云母带和玻璃丝带各 1 层。

热压工艺。先在 80～100 ℃下逐渐加压；然后在温度达到（155±5）℃时加全压（压力为 10.0～30.1MPa），保持 45～90min；最后冷却后脱膜。热压工艺完后用利刀和锉刀清理线圈表面粘结的漆瘤和突出的匝间绝缘。清理后，在引线部位进行搪锡。

三、补偿绕组故障检查及修理

（一）补偿绕组型式及连接方式

补偿绕组结构型式有菱形、同心式和条式 3 种（如图 1-14 所示）。菱形绕组主要用于小型直流电机上，绕组采用圆形电磁线绕制，对地绝缘是槽绝缘，槽是梨形槽，所以绕组绕制和嵌线方法与低压定子的散嵌绕组相同。同心式绕组主要用于中型直流电机，绕组是采用扁线绕制，外包对地绝缘，槽为开口槽，为了减少损耗和噪声，可采用磁性槽楔。条式绕组主要使用在大中型直流电机上，采用裸铜排外包对地绝缘，热压成型，插入半闭口槽内。两端经焊接连接起来。补偿绕组连接方式有并头套软焊、硬焊、螺栓连接 3 种，如图 1-64 所示。

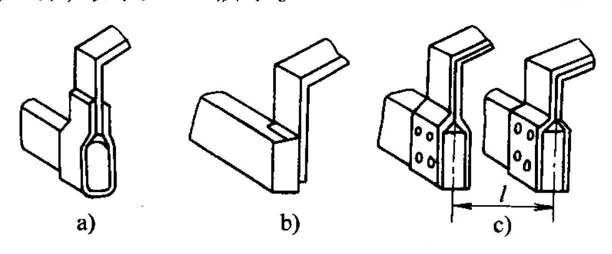


图 1-64　补偿绕组连接方式

a）并头套软焊　b）硬焊　c）螺栓连接

（二）补偿绕组故障修理

1. 匝间短路的修理

菱形和同心式补偿绕组匝数较多，常发生匝间短路和接地故障，其故障处理方法与励磁绕组相同。条形补偿绕组常见故障是绝缘电阻降低、线圈松动、对地击穿等。条形线圈绝缘电阻降低很少是因绝缘老化造成的，大多数是由于碳粉粘结在槽口和绕组端部绝缘表面与缝隙内而引起爬电造成的。其故障处理方法一般是经过吹风清扫和用汽油 、丙酮擦拭绝缘就会提高。经过清扫绝缘上升后，要采用环氧树脂胶涂刷并包扎玻璃布带。否则还会引起绝缘电阻降低。

2. 补偿绕组松动的修理

补偿绕组松动会引起焊接点开焊，对地绝缘损伤，甚至造成对地击穿。其处理方法是将槽楔打出，彻底吹风清扫，伸出铁心两端的绕组端部到槽口处用蘸汽油的擦布擦拭干净。然后用 0.05mm 厚的聚酰亚胺薄膜半叠包一层，再用 0.1mm 厚的玻璃丝带半叠包一层，最外层还用环氧树脂胶涂刷一层。槽内部分灌入环氧树脂胶，在室内半固化后，再打入槽楔。

3. 补偿绕组对地击穿的修理

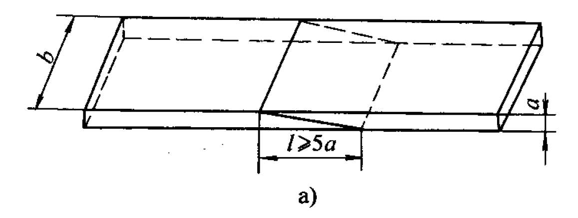
如果补偿绕组对地击穿。则要抽出条形线棒、重包绝缘。首先用电工刀刮除旧绝缘；然后用锉刀清除较大毛刺和尖棱，再用砂布砂光导条表面，用蘸酒精的干净抹布擦拭一遍。对地绝缘材料宜选用 B 级胶粉云母带，包好后要经热压成型。按规定厚度确定云母带层数，同时要考虑云母带热压成型时要收缩 20% 的收缩量。包扎所需层数和厚度后再外包一层 0.05mm 厚的聚酯薄膜。热压工艺为：首先在 90～105℃下进行初压，并保持 20min；然后升温到 110～120℃进行第二次加压，仍保持 20min；最后进行全压，温度要求达 160 ℃左右，保温时间为 3h。卸模时要冷却到 110℃以下才能进行。

检查线棒表面质量，应无汽泡和皱折。用卡尺检查对地绝缘经热压后的尺寸，应符合原始记录或图纸要求。

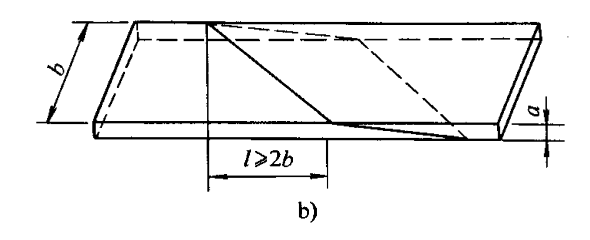
四、换向极绕组故障检查及修理

换向极绕组绝缘和极身绝缘与励磁绕组基本相同。小型直流电机的换向极线圈采用漆包线或玻璃丝包线绕制；较大些容量的换向极线圈是采用裸扁铜（铝）线扁绕，匝间垫以绝缘，并经热压成型；有些电机则用绝缘垫块作匝间绝缘，使线圈易于散热。常见故障是匝间短路和对地击穿，因此常将裸铜线烧损。修补方法是将烧损处锉出整齐的缺口，用银磷铜焊将相同材料和与缺口尺寸相吻合的补材与母材焊接在一起，焊好后用锉刀和砂布修整平坦。如果烧损严重，需要去掉几匝损坏的铜线，则要用相同尺寸和材质的铜排进行焊接。为此要采取坡口的连接方式，即

要求母材和补材相互锉出沿高度和宽度方向的坡口，如图 1-65 所示。图 1-65a）的切口与宽度方向 b 平行，而图 1-65b）的切口与 b 不平行，目的是使坡口面积加大，有利焊接强度增大。



a)



b)

图 1-65 导线的焊接坡口示意图
a）直坡口 b）斜坡口

先将母材拉开一部分，用湿石棉布包扎，以防施焊时影响线匝绝缘；然后用银磷铜焊进行坡口接缝的焊接。冷却后用锉刀锉平毛刺，去掉湿石棉布，清理干净，再按原有绝缘等级包扎或垫放绝缘。

五、电枢绕组故障检查方法

在修理中常碰到的电枢绕组故障有换向片或升高片间短路、电枢线圈匝间短路、并头套开焊、绕组接地（或换向器接地）、层间击穿等。修理厂常用的检查方法是采用测试片间电阻或片间电压降、测试换向片与转轴间的电压降以及用试灯或绝缘电阻等检查。

（一）测试换向片间电阻或电压降法

这是修理单位最常用的简单测试方法，此法可以查出电枢绕组短路、换向片或升高片间短路、升高片脱焊、绕组断路等故障。

测量方法是在相邻两个换向片上或相隔一个极距的两个换向片上接入低压直流电源，用直流毫伏表测量相邻两个换向片间的电压降，如图 1-66 所示。

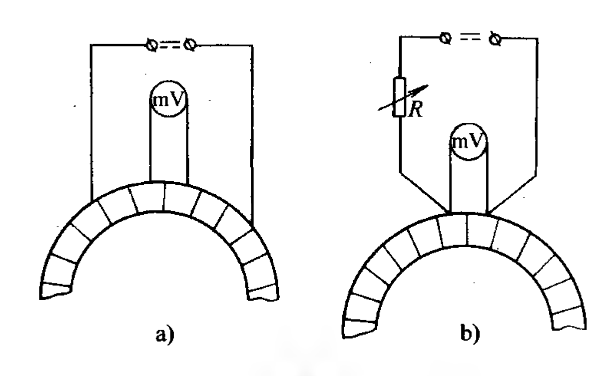


图 1-66 测量片间电压降，检查电枢绕组故障
a）电源接在接近一个极距的两换向片上
b）电源接在相邻的两换向片上

测量大中型直流电机的片间电压降时，直流电源电流要大些，不小于 10A，否则不灵敏，另外，要求直流电源稳定。

测试时应注意以下几点：

1）正常情况下，片间电阻或电压降值应接近相等，最大和最小值与平均值的偏差不大于 ±5%。

2）在测试时，要对换向片编号，并有记录，发现某两片之间电阻低于一般电阻值或电压降值，则说明这两片之间有短路存在，首先清理片间脏物，再测试这两片间电压降，如果仍低，再清理升高片根底脏物，清理后，片间电压降仍低，再清理换向器 3°面，只要是换向器片间短路，一般采取这 3 个步骤便可查出。严重时，比如换向片在换向器里面短路，那就要将换向器解体处理了。

3）有时电枢绕组匝间短路或层间短路，这时要将电枢绕组与升高片焊接点打开，使换向器与电枢绕组故障分离，便可判定是电枢绕组短路还是换向器短路。

4）当片间电压降值比正常值大时，则说明升高片与绕组焊接质量不好，或脱焊，或电枢绕组有断路存在。一般是焊接质量不好、脱焊造成的。

5）如果测量结果，电压降呈规律变化，这是正常现象，这是电枢绕组均压线造成的，不要误认为绕组有故障。

（二）测试换向片与转轴间的电压降法

将直流低压电源接到相隔一个极距的两换向片上（如图 1-67 所示）。用毫伏表测试换向片到转轴间的电压降。当电压降突然变小或零时，则说明该点存在接地故障。

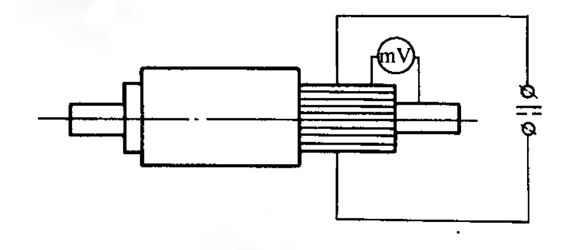


图 1-67 用测量换向片和轴间的电压降方法检查转子绕组的接地点

也可将低压直流电源接到换向片和转轴上，如图 1-68 所示。测量换向片间电压降，在接地附近的换向片间电压降将方向相反。

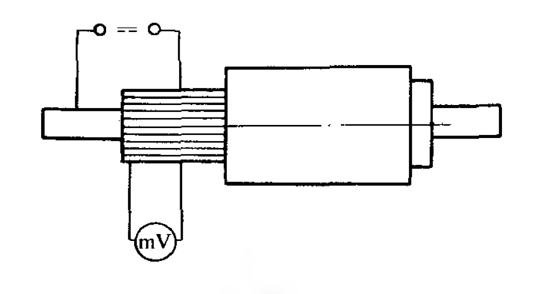


图 1-68　用测量换向片间压降方法检查转子绕组故障点

（三）试灯和绝缘电阻表法

这是修理单位常用的方法。

1. 试灯法

采用220V交流试灯接在换向片和转轴上，然后根据火花或烟雾可判定接地点位置。如图1-69所示。

2. 绝缘电阻表法

用绝缘电阻表检查绝缘电阻和电枢绕组或换向器接地故障。如果绝缘电阻表指示为零或接近零时，再用万用表测量一次，这时能判定是绝缘电阻为零还是有一定数值，如果有一定数值，表明绝缘未完全击穿，可能是绝缘受潮；如果绝缘电阻为零，则表明有接地故障。

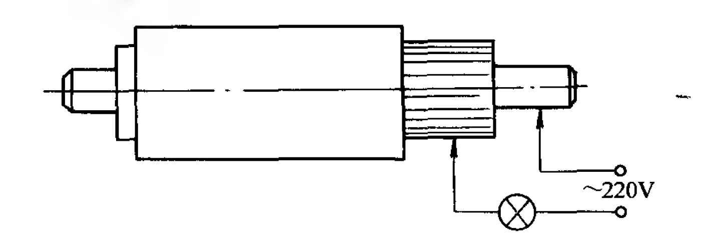


图 1-69　用试灯检查电枢绕组接地点

为了区别是换向器接地还是绕组接地，要把换向极绕组、补偿绕组或串励绕组与电枢绕组断开，为此提起所有电刷即可。

六、电刷的选用

电刷的类别、型号、特征和主要应用范围见附表1-9，各种电刷的电气性能及试验条件见附表1-10。附表1-11还给出电刷刷体与引出线的联接电阻，附表1-12给出电刷引线的脱出拉力。无论是外购电刷选用牌号，还是自行配制电刷，以上附表内容对于修理单位是非常有用的。

第十三节　直流电动机绝缘结构

一、电枢绕组绝缘结构

电枢绕组绝缘结构包括槽内绝缘和端部绝缘两大部分。槽内绝缘部分有槽绝缘、匝间绝缘、层间绝缘、对地绝缘以及槽顶垫条、槽底垫条、保护绝缘和槽楔等。端部绝缘部分有层间绝缘、支架绝缘、匝间绝缘、对地绝缘以及保护绝缘、固定所需绑扎绝缘等。

（一）槽内绝缘结构

1. 梨形槽散嵌线圈绝缘结构

梨形槽散嵌线圈是小型直流电机上所使用的元件，其槽绝缘结构和使用的材料规格见表1-42。

表中DMD表示聚酯薄膜聚酯纤维纸复合膜；NMN表示聚酯薄膜聚酰胺纤维纸复合膜。

表1-42　梨形槽散嵌线圈绝缘材料规格

		B级绝缘500V			F级绝缘500V		
		名　称	厚度/mm	层数	名　称	厚度/mm	层数
1	槽　楔	*3240环氧酚醛层压玻璃布板	2~3	1	*3240环氧酚醛层压玻璃布板	2~3	
2	槽绝缘或层间绝缘	DMD	0.35	1	NMN	0.35	1
3	电磁线	QZ-2型聚酯漆包圆导线			聚酯亚胺漆包圆导线		

2. 矩形槽散嵌线圈绝缘结构

矩形槽散嵌线圈是小中型电机上常使用的元件，其槽绝缘结构和使用的材料规格见表1-43。

3. 矩形槽成型线圈（单鼻蛙绕）绝缘结构

矩形槽成型线圈是中大型电机常使用的线圈元件，其绝缘结构和使用的材料规格见表1-44。

4. 矩形槽成型线圈（双鼻蛙绕）绝缘结构

矩形槽成型线圈（双鼻蛙绕）是大中型电机常使用的线圈元件，其绝缘结构和使用的绝缘材料规格见表1-45。

表1-43 矩形槽散嵌线圈绝缘材料规格

		B级绝缘500V			F级绝缘500V		
		名　称	厚度/mm	层数	名　称	厚度/mm	层数
1	无纬玻璃丝布	环氧无纬玻璃丝布			聚胺酰亚胺无纬玻璃丝布		
2	槽顶垫条	环氧酚醛层压玻璃布板	0.5	1	聚二苯醚层压板	0.5	1
3	槽绝缘或层间绝缘	DMD	0.12 及 0.25	1 1	NMN	0.4	1
4	电磁线	聚酯漆包扁铜线			聚酰胺酰亚胺漆包扁铜线		
5	槽底垫条	环氧酚醛层压玻璃布板	0.2	1	聚二苯醚层压板	0.2	1

表1-44 矩形槽成形线圈（单鼻蛙绕）绝缘材料规格

		B级绝缘500V			F级绝缘1000V		
		名　称	厚度/mm	层数	名　称	厚度/mm	层数
1	槽　楔	环氧酚醛层压玻璃布板(3240)			环氧酚醛层压玻璃布板		
2	槽绝缘	聚酯薄膜玻璃漆在复合箔	0.17	1	NMN	0.17	1
3	线圈保护绝缘	无碱玻璃丝布	0.10×25	1（直线平绕，端部半叠绕）	无碱玻璃丝带	0.10×25	1（直线平绕，端部半叠绕）
4	对地绝缘	桐油酸酐环氧云母带(5438)	0.14×25	2（直线半叠包二层，端部半叠包一层）	聚酰亚胺薄膜	0.05×25	3（直线半叠包3层，端部半叠包2层）
6	层间垫条	醇酸玻璃云母板（5131）	0.2	1	有机硅玻璃柔软支云母板	0.2	1
7	槽底垫条	环氧酚醛层压玻璃布板(3240)	0.2	1	环氧酚醛层压玻璃布板	0.2	1

表 1-45 矩形槽成形线圈（双鼻蛙绕）绝缘材料规格

		B 级绝缘 500V			F 级绝缘 1000V		
		名　称	厚度/mm	层数	名　称	厚度/mm	层数
1	槽楔	环氧酚醛层压玻璃布板	4～5	1	环氧酚醛层压玻璃布板	4～5	1
2	保护绝缘	无碱玻璃丝带	0.10×25	1（直线平绕端部半叠）	无碱玻璃丝带	0.10×25	1（直线平绕，端部半叠）
3	对地绝缘	醇酸玻璃柔软云母带	0.14×25	直线半叠2层，端部1层	聚酰亚胺薄膜	0.05×25	直线半叠3层，端部2层
4	匝间绝缘	醇酸玻璃云母带	0.10×25	直线半叠2层，端部一层	聚酰亚胺薄膜	0.05×25	直线半叠3层，端部2层
5	电磁线	裸铜扁线			裸铜扁线		
6	槽绝缘	聚酯薄膜玻璃漆布复合箔	0.17	1	NMN	017	1
7	槽底垫条	环氧酚醛层压玻璃布板	0.20	1	环氧酚醛层压玻璃布板	0.20	1

（二）端部绝缘结构

直流电机电枢绕组端部绝缘除线圈本身的匝间绝缘、保护绝缘、对地绝缘之外，还要端部层间绝缘和支架绝缘以及固定绑扎绝缘。

小型电机绕组端部不用支架，采用无纬带绑扎固定。

表 1-46 是直流电机 500V 平包电枢端部支架绝缘结构材料规格。表中 NHN 表示聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合绝缘，型号 6650（JB4062—1985），属 H 级绝缘，可长期在 220℃下工作。

表 1-47 是直流电机 500V、1000V 电枢端部支架绝缘结构和材料规格。

二、定子绕组绝缘结构

直流电机定子绕组绝缘结构包括主极绝缘结构、换向极绝缘结构、补偿极绝缘结构。每种结构都包含对地绝缘（极身绝缘或槽绝缘）、匝间绝缘、引线绝缘以及垫块、垫圈、保护绝缘等。

（一）主极绝缘结构

1. 小型直流电机主极绝缘结构

小型直流电机常采用框架绝缘结构。表 1-48 是 500V、H、B 级绝缘的绝缘结构。

表 1-46　500V 平包支架绝缘数据表

		B 级绝缘 500V			F 级绝缘 1000V		
		名　称	厚度 /mm	层数	名　称	厚度 /mm	层数
1	无纬玻璃丝带绑箍	环氧型			聚胺酰亚胺型		
2	层间绝缘	DMD	0.25	2	HHN	0.20	2
3	无碱玻璃丝带	电带-100	0.10		电带-100	0.1	
4	环氧酚醛层压玻璃布板	3240	0.5		3240	0.5	
5	支架绝缘	DMD	0.25	2	NHN	0.20	2
6	绑绳	聚酯纤维绳			聚酰胺纤维绳		
7	无碱玻璃丝布	电带-100	0.10		电带-100	0.1	

表 1-47　环包支架绝缘数据表

		B 级绝缘 500V			F 级绝缘 1000V		
		型　号	厚度 /mm	层数	型　号	厚度 /mm	层数
1	绑箍	环氧无纬玻璃丝带			环氧无纬玻璃丝带		
2	层间绝缘	聚脂薄膜，醇酸柔软云母纸	0.17 0.14	2 1	聚酰亚胺薄膜有机硅柔软云母板	0.17 0.20	2 1
3	支架垫板	环氧酚醛层压玻璃布板	0.5		环氧酚醛层压玻璃布板		
4	支架垫板	环氧酚醛层压玻璃布板	0.2	1	环氧酚醛层压玻璃布板	0.20	1
5	支架绝缘	醇酸柔软云母板	0.14	2（环包）	有机硅柔软云母板	0.20	3（环包）
6	支架包扎	聚酯薄膜	0.17	1（环包）	聚酰亚胺薄膜	0.17	1（环包）
7	支架包扎	无碱玻璃丝带	0.10×25	1（半叠）	无碱玻璃丝带	0.10×25	1（半叠）

表 1-48　500V，H、B 级绝缘数据表

		B 级绝缘			F 级绝缘		
		名　称	厚度 /mm	层数	名　称	厚度 /mm	层数
1	极身绝缘	DMD	0.25	2¼	NHN	0.22	2¼
2	主极保护带	电带-100 无碱玻璃丝带	0.1	1（半叠）	电带-100 无碱玻璃丝带	0.1	1（半叠）
3	主极线圈引线绝缘	#5131 醇酸云母板	0.2	2	#5150 有机硅柔软云母板	0.2	2
4	绝缘垫圈	#3240 玻璃布板	>2	1	有机硅层压玻璃布板	>2	1
5	串联线圈匝间绝缘	#5131 醇酸云母板	0.2	2	#5150 有机硅柔软云母板	0.2	2
6	串联线圈绑扎带	电带-100 无碱玻璃丝带	0.1	1	电带-100 无碱玻璃丝带	0.10	1

2. 中型直流电机主极绝缘垫块结构

表 1-49 是 660V、B 级主极绝缘的绝缘结构。

3. 中型直流电机主极绝缘熨包式绝缘结构

表 1-50 是主极绝缘熨包式绝缘结构。表中 SMS 为聚酰亚胺薄膜玻璃漆布复合箔。

4. 大型直流电机主极绝缘结构（1000V、B 级绝缘）

表 1-51 是 1000V、B 级绝缘大型直流电机主极绝缘结构。

（二）换向极绝缘结构

1. 小型直流电机换向极绝缘结构

表 1-52 是小型直流电机 500V，B 级绝缘换向极绝缘结构。

2. 中型直流电机换向极绝缘结构

表 1-53 是中型 500V、B 级绝缘换向极线圈及极身绝缘结构和材料规格。

（三）补偿绕组绝缘结构

直流电机常见的补偿绕组绝缘结构型式有小型直流电机用的菱形绕组、电枢直径在 $\phi368$mm ~ $\phi560$mm 的中型直流电机用的同心式绕组以及中大型直流电机采用的条形绕组，如图 1-70 所示。

表 1-54 是同心式补偿绕组绝缘结构材料规格；表 1-55 是条形补偿绕组绝缘结构材料规格。

表 1-49　660V，B 级主极绝缘数据表

		绝缘材料			绕法	层数
		名称	型号	厚度/mm		
1	板身绝缘	环氧酚醛玻璃坯布（或无碱玻璃丝布）		0.2	围绕	2
2		环氧玻璃坯布		0.17	围绕	2¼
3		环氧酚醛玻璃坯布（或无碱玻璃丝布）		0.1	围绕	2
4	主极线圈保护带	无碱玻璃丝布	无碱带-100	0.1	半叠绕	1
5	主极线圈引线绝缘	醇酸柔软云母板	5131	0.15～0.2	垫	2
6	绝缘垫块	酚醛玻璃纤维塑料	4330		垫	
7	绝缘垫圈	玻璃布板	3240		垫	1
8	串联线圈匝间绝缘	醇酸云母板或 DMD	5131 或 DMD	0.25	垫	2

表 1-50　主极绝缘烫包式结构数据表

		B 级绝缘 500V			F 级绝缘 1000V		
		名称	厚度/mm	层数	名称	厚度/mm	层数
1	极身线圈绝缘	环氧酚醛上胶玻璃坯布	0.16	1¼（围绕）	环氧酚醛上胶玻璃坯布	0.2	1¼（围绕）
2		环氧粉云母箔	0.2	2¼（围绕）	有机硅玻璃柔软云母板及聚酰亚胺薄膜	0.25 0.05	2¼ 2¼ （围绕）
3		环氧酚醛上胶玻璃坯布	0.16	1¼（围绕）	环氧酚醛上胶玻璃坯布	0.2	1¼（围绕）
4		无碱玻璃坯布	0.1	2（围绕）	无碱玻璃坯布	0.1	2（围绕）

（续）

		B级绝缘 500V			F级绝缘 1000V		
		名　　称	厚度/mm	层数	名　　称	厚度/mm	层数
5	主极线圈保护带	无碱带-100型无碱玻璃丝带	0.1	1（半叠）	无碱玻璃丝带	0.1	1（半叠）
6	主极线圈引线绝缘	#5131醇酸柔软云母板	1.15~0.2	2（垫）	有硅玻璃柔软云母板	0.2	2（垫）
7	绝缘垫圈	#3240玻璃布板		1（垫）	有机硅层压玻璃布板		1（垫）
8	串联线圈匝间绝缘	DMD	0.25	2（垫）	NMN	0.25	3（垫）
9	补偿线圈绝缘	B级#5438粉云母带	0.14	3（半叠）	#545D3有机硅玻璃云母带	0.14	4（半叠）
10	补偿线圈绝缘	#2930聚酯薄膜玻璃漆布复合带	0.05	1（半叠）	聚酰亚胺带	0.05	1（半叠）
11	补偿线圈槽绝缘	DMD	0.2	1（卷）	NMN或SMS	0.2	2（卷）

表1-51　1000V，B级主极绝缘数据表

		绝缘材料			绕　法	层数
		名　　称	型　号	厚度/mm		
极身绝缘	1	酚醛玻璃纤维塑料，或同中型电机极身绝缘规范	4330	4		1
主极线圈匝间绝缘	2	环氧酚醛玻璃坯布		0.2		3¼
主极线圈之首末匝间加强绝缘		无碱玻璃丝带	电带-100	0.1	半叠包	1

（续）

		绝缘材料			绕法	层数
		名称	型号	厚度/mm		
主极保护带	3	无碱玻璃丝带	电带-100	0.1	半叠包	1
玻璃丝包轧绕制的主极引线绝缘		醇酸云母板	5131	0.15	叠	2
		聚酯薄膜		0.05	叠	2
绝缘垫圈	4	玻璃布板	3240			1
补偿线圈对地绝缘	5	B级胶粉云母带	5438	0.14	半叠包	4
	6	聚酯薄膜		0.05	半叠包	1
补偿线圈槽绝缘	7	DMD		0.2	叠	1¼
补偿线圈槽底垫条	8	玻璃布板	3240	0.5	叠	1
串联线圈匝间绝缘	9	B级胶粉云母带	5438	0.14	半叠包	1
串联线圈之首末匝加强绝缘		无碱玻璃丝带	电带-100	0.1	半叠包	1

表1-52　小型500V，B级换向极线圈及极身绝缘数据表

a)　b)　c)

		绝缘材料			绕法	层数
		名称	型号	厚度/mm		
极身绝缘	1	无碱玻璃丝布	电布-100	0.1	围绕	2
	2	醇酸云母板	5832（或5131）	0.2	围绕	4
	3	DMD		0.17	围绕	1
绝缘垫圈	4	玻璃漆布	3240	>2	垫	1
匝间绝缘	5	醇酸云母板	5131	0.2	垫	2
引出线绝缘	6	醇酸云母板	5131	0.2	垫	2
多匝线圈保护带	7	无碱玻璃丝带	电带-100	0.1	半叠绕	1
平绕线圈绑扎带	8	无碱玻璃丝带	电带-100	0.1	疏绕	1

表 1-53　中型 500V，B 级换向极线圈及极身绝缘数据表

a) 匝间绝缘为垫块结构　　b) 匝间绝缘

部位	序号	绝缘材料 名称	型号	厚度/mm	绕法	层数
极身绝缘	1	无碱布或玻璃坯布		0.1	围绕	2
	2	醇酸云母箔或云母板	5832（或 5131）	0.2	围绕	3～4
	3	DMD		0.17	围绕	1
	4	无碱玻璃布或坯布		0.1	围绕	2
匝间绝缘	5	玻璃布板	3240		垫	
	6	环氧酚醛玻璃坯布		0.1	垫	4
固定夹绝缘	7	聚脂薄膜玻璃漆布复合	2930	0.2	卷	4

表 1-54　同心式补偿绕组绝缘规范

电压等级/V	500	500	660	660
绝缘等级	B	H	B	F
匝间绝缘	聚脂漆包扁铜线 QZB	硅有机双玻璃丝包线 SBEGB	聚脂漆包扁铜线 QZB	硅有机双玻璃丝包线 SBEGB
对地绝缘	0.14mm 环氧粉云母带 5438#半叠绕 2 层	0.14mm 硅有机云母带 5450#半叠绕 2 层	0.14mm 醇酸玻璃软云母带半叠绕 2 层	0.05mm 聚酰亚胺薄膜半叠绕 3 层
保护绝缘	0.1 玻璃丝布带槽部平绕 1 层，端部半叠绕 1 层			
槽绝缘	0.2mm DMD 1 层	0.17mm NHN 1 层	0.2mm DMD 1 层	0.17mm NMN1 层

表 1-55　条形补偿绕组绝缘规范

电压等级/V	500	500	1000	1000
绝缘等级	B	H	B	F
对地绝缘	0.14mm 环氧粉云母带 5438#半叠绕 3 层热压成型	0.05mm 聚酰亚胺薄膜半叠绕 3 层	0.17mm 环氧粉云母带 5438#半叠绕 4 层热压成型	0.05mm 聚酰亚胺薄膜半叠绕 4 层
保护绝缘		0.1mm 玻璃丝布带平绕 1 层		0.1mm 玻璃丝布带平绕 1 层
槽绝缘	0.17mm DMD 1 层	0.17mm NHN 1 层	0.2mm DMD 1 层	0.17mm NMN 1 层

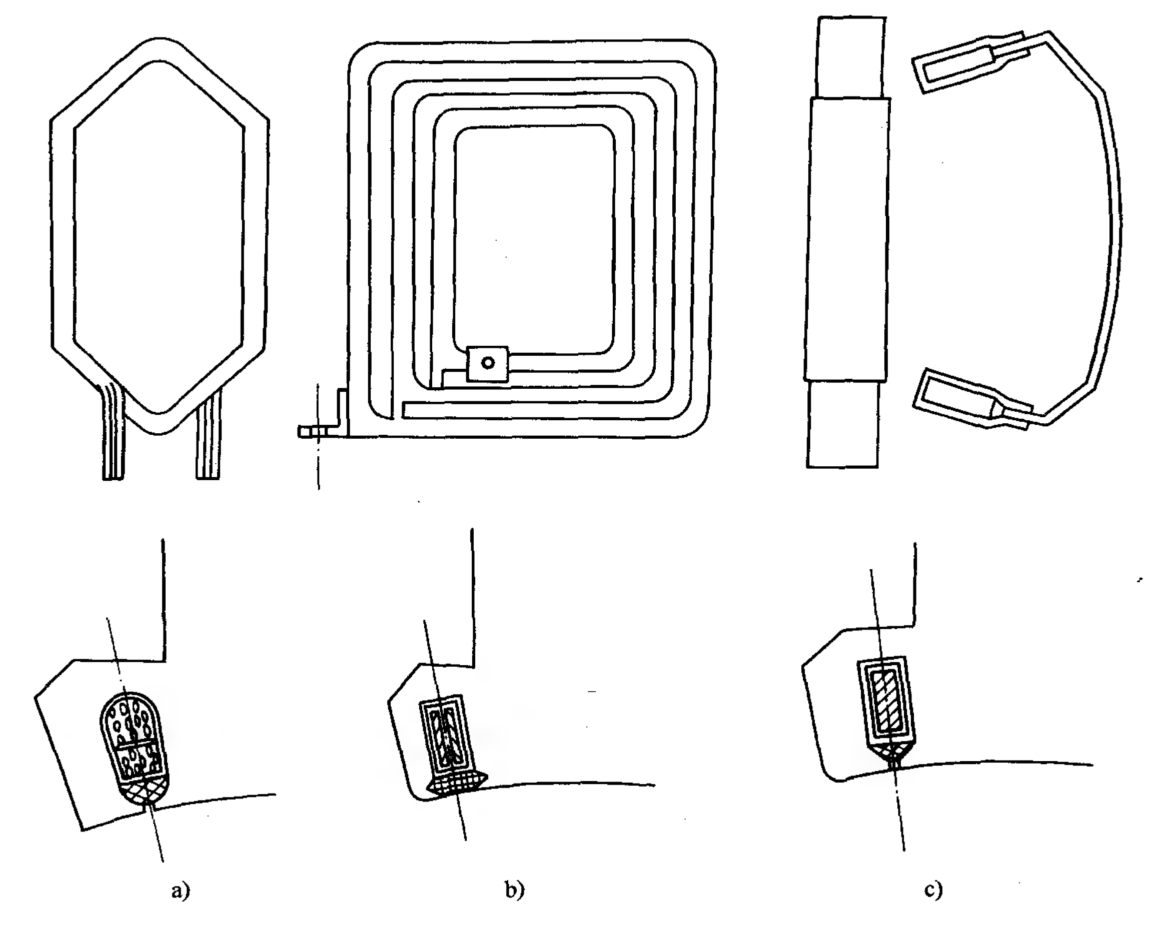


图 1-70　补偿绕组结构型式
a）菱形绕组　b）同心式绕组　c）条形绕组

第十四节　电枢绕组重绕修复

一、简易修复程序

查明故障线圈后，要进行修复工作，修复程序如下：

1）首先去掉线圈端部的绑箍。为此可用铲刀或手锯将无纬带绑箍沿线圈端部倾斜角度剔或锯开，然后整个绑箍可取下来。对于钢丝绑扎的端部绑箍，可用氧气火焰烧断；如欲保留钢丝复用时，则要用烙铁或喷灯加热焊接点和机片，将钢丝拆下备用。

2）打出槽楔。

3）用喷灯烫开升高片焊接处，从槽内起出旧线圈。

4）如果线圈被烧断，起出的线圈在断开处进行补焊，用同规格的导线焊接后，清理焊点再包扎绝缘。

5）取出的旧线圈进行退火处理。

6）退火后调直、整形，刮头搪锡。

7）包扎绝缘，再整形，嵌入槽内。

8）焊接升高片、试片间电阻和做交流耐压试验。

9）按工艺绑扎端箍，钢丝端箍可改为无纬带绑扎。

10）经浸渍烘干处理，做出厂试验。

二、采用新修复工艺

1. 旧工艺

修理单位为了节省铜材和工时，或因一时购不到合适规格的导线，往往利用原铜线进行修复。按正常操作程序应是：起出旧线圈；灼除旧线圈绝缘，同时进行退火处理；铜线调直和焊补；刮线头和端头搪锡；弯鼻子、整形；分开线圈两腿；线圈整形；打磨铜线毛刺；包扎绝缘；嵌线、接线、焊接；绑扎无纬带、浸漆烘干处理等。

采取上述操作方法是非常繁琐的，尤其生产任务紧张，要求电机快速修复后投产时，上述工艺程序不能满足生产要求。

上述操作的缺点是：

（1）线圈修理质量不好　一般修理单位没有真空退火炉设备，往往采用火烧旧线圈绝缘和退火办法，因此，严重地破坏了线圈原来固有的形状，在烧导线时，把铜线烧的弯弯曲曲。虽经调直处理，导线

表面也不易平坦，使线匝之间不能紧密地贴服，线与线之间存在许多点接触和缝隙。因此包扎绝缘和嵌线后，易压破匝间绝缘，造成匝间短路故障。同时线圈外形尺寸胀大，造成嵌线困难。

火烧导线时，由于温度不好控制，温度不均，造成导线受热不均，甚至有的铜线被烧熔、烧断。

退火后的铜线经调直冷加工后，又变硬，也影响线圈的质量。

（2）浪费工时　线圈退火前，为避免引线头的搪锡表面被灼结成金属硬瘤，事先要将焊锡瘤锉平，然后用泥封住搪锡表面。一台大型直流机，线头有数千个，全靠手工操作，非常费工。

其次，调直导线的工作量更大，因被火烧后的铜线形状完全改变，需要彻底将原线圈各部分调直、敲平，尤其原线圈的鼻部圆弧，需要重新调直相当困难，所以比用新导线制造线圈时还费工，并且还要做出许多模具。

2. 新工艺

（1）新的操作工艺特点　新工艺特点是在修理过程中，保持线圈原来固有的形状不变，因此比用新导线制造线圈省工省模具和材料。由于原来线圈形状保持不变也就不需要调直导线、弯线圈鼻子、整型等工序，所以大大节省了工时。其次是在线圈退火时，采取措施保证线圈搪锡表面不产生坚硬的金属瘤，因此也就不需要事先打磨锡瘤和泥封等手工操作，也节省了许多工时。由于修理过程中保持线圈形状不变，从而也就保证了导线质量和线圈绝缘质量。

（2）具体操作措施

1）起出线圈时，要尽力保持线圈固有形状，因此要避免以往的“破坏性”的拆除办法。为了保持线圈形状不变形，可利用图 1-71 所示的专用工具起出线圈。

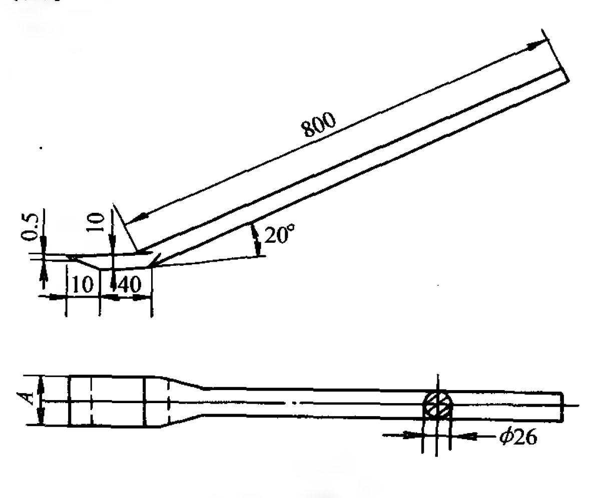


图 1-71　起线圈专用工具

A—槽宽减 2mm

2）起出的旧线圈不用火烧，而是将它浸入碱水槽中煮掉旧绝缘。

为此，在煮洗槽中事先配好 15% 浓度的火碱水溶液，并加热 70 ~ 80 ℃，然后将线圈的引线头朝上放入碱水槽中，每槽每次可安排 50 ~ 100 个线圈，线圈引出线头的搪锡表面要露出水面或包扎上，在操作过程中勿使碱水溅到搪锡表面上，以防搪锡表面因起化学变化产生坚硬的金属瘤。

煮 2h 左右即可吊出线圈，然后再用热水浸泡（如有蒸气废水冲洗也可），这时线圈上的旧绝缘会自动脱落。最后用刷子将残余的绝缘彻底刷洗干净，再用干布擦拭铜线，擦干、擦净。在整个操作过程中勿使导线变形。

3）采用大电流退火。如果电枢绕组是蛙氏绕组，可将叠绕组和波绕组分开，分别进行退火；如果不分开退火时，则需要二套卡子。

退火时，如图 1-72 所示，将波绕组平放在整张的石棉水泥瓦上，然后用卡子将大电流发生器的二次引线端头与线圈的引线头 *A* 点固定好。*A* 点选择离线头搪锡表面 50mm 左右，目的是使搪锡表面不通过大电流，因此不会过热，从而保护搪锡表面不被氧化，避免产生硬金属瘤。实例 4930kW 直流发电机的波绕组退火时，大电流发生器的二次电压为 12V，二次电流为 1800A，加热 2min 左右，退火完毕。而线圈搪锡表面温度，用点温计测量小于 90 ℃，这样就避免了搪锡表面的氧化。

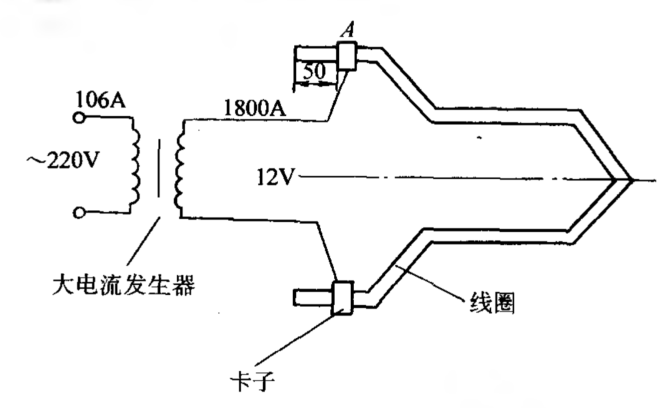


图 1-72　大电流退火装置

为使退火后的线圈在搬运时减少变形，事先要在线圈四角拴好吊钩，退火后马上由两个人同时将线圈的四角抬起，然后迅速将线圈投入附近的冷水池中退火。

4）线圈复形　由于线圈在操作当中难免要使线圈产生少许变形，为了彻底恢复原始的正确形状，需将线圈放在复形模上进行复形，在复形时，要用手锤垫上木块轻轻敲打线圈，使线圈与复形模靠严。

5）打磨导线毛刺；线头进行搪锡。

6）包扎线圈绝缘。

7）其余操作程序按正常的工序进行。

采取上述操作工艺，不但保证了线圈质量，还节省许多模具的制作和劳动工时。

三、电枢绕组重绕

（一）旧线圈的拆除和记录

拆除绕组前，要做好线圈和换向片的相互位置标记，标志出一个线圈的两边在槽的位置以及此线圈端头与所焊接的换向片的相互位置，如图 1-73 所示。

图中 Y_Z 是线圈的槽节距、Y_K 是线圈的换向片节距、Y_{K1} 是蛙绕组中波绕组的换向片节距、Y_{K2} 是蛙绕组中叠绕组的换向片节距。

X 是线圈起头与槽边所对的换向片中心间距离；X_1 是波绕组起头与槽边所对的换向片中心间距离；X_2 是叠绕组起头与槽边所对的换向片间的距离。

记录内容通常有：

1）铭牌数据　如型号、额定电压、额定电流、额定转速、励磁电压、励磁电流、极数、额定容量、温升、绝缘等级、运行方式、出厂编号、出厂日期、制造厂家等。

2）电枢铁心记录　槽数、槽形尺寸、铁心外径、通风沟宽、通风沟数目等。

3）电枢绕组数据　绕组型式、换向片数、导线规格、线圈数目、线圈匝数、线圈槽节距、换向片节距、每槽线圈数或元件边数、焊线偏移方向与片数、绑扎线规格或无纬带规格、扎线层数和匝数、绑扎宽度和厚度等。

4）绝缘材料记录　如槽绝缘规格、绕组绝缘规格、层数和厚度、外包绝缘规格等。

5）画出电枢绕组接线草图和槽形图。

6）测绘线圈尺寸和引线头长度、线圈绝缘规范。

在拆除电枢绕组时，一般是将电枢卧放在滚动的转子支架上，用绝缘纸将换向器表面包严，转轴的轴颈部分用布或毛毡包好。

首先去掉线圈两端的绑箍，然后打出槽楔。用喷灯烫开升高片与引线头的连接，使线圈从升高片的并头套内分离。

要保留一个完整的线圈实样，以作为设计绕线模和检查新线圈尺寸时参考。

为了便于拆除线圈，可在电枢绕组内通电加热，或者电枢放在烘炉内加热，趁热拆除旧线圈。先将每个上层线圈起出来，一直起到一个节距；再将上下元件边起出。对要复用的线圈，要细心拆除，使线圈变形尽可能小，以减少整形和复形时间。在拆线时，要复查原始记录是否正确，标记是否无误。

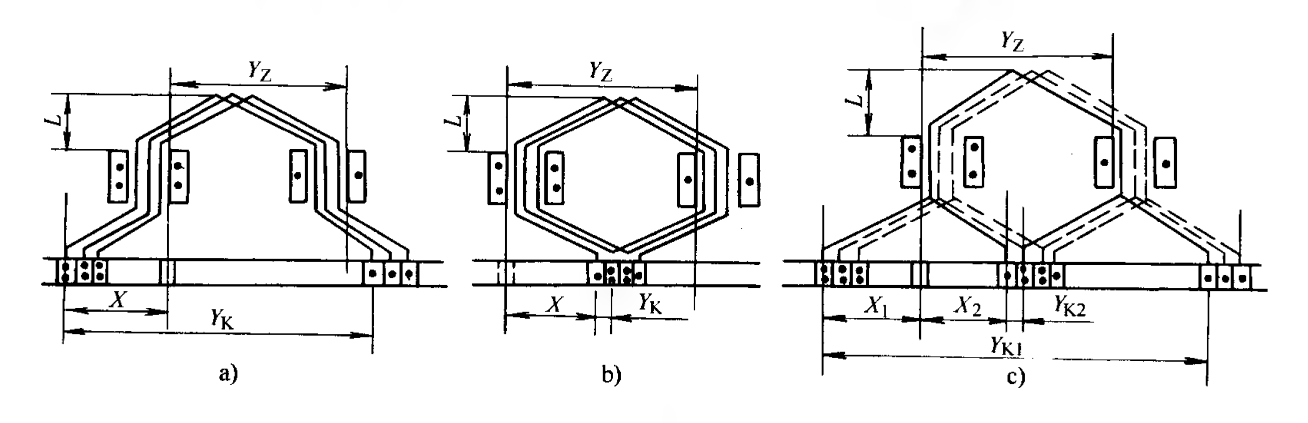


图 1-73　电枢绕组记录草图

a）波绕组　b）叠绕组　c）蛙绕组

对引线头直接嵌在换向片槽内的连接，在烫开焊点前，要先在云母沟槽内填充滑石粉腻子，防止焊锡流入沟槽内造成片间短路。然后用砂布将欲烫开的表面砂光。用烙铁和松香粉进行烫开焊点。烙铁温度不可过高，时间不可过长，以防损伤片间云母绝缘。

在烫开线圈焊接头时，勿使升高片有较大扭曲变形，保护好升高片根部。全部线圈拆除后，要彻底清理换向器表面脏污。

（二）旧导线的复用

对于导线截面较大、匝数较少的中大型绕组线圈，修理厂往往是将旧线圈退掉绝缘、退火、整形、重包绝缘复用。

为了节省工时，去旧绝缘和退火同时进行，退火温度 600～650 ℃之间，达到红樱色，急速投入冷水中退火，在此高温下，线圈绝缘已被烧焦，在冷水中会自动脱掉。

为防止退火线圈变形过大，可在退火前将线圈鼻端和四角用旧铜线绑扎紧，加热后用铁钩从线圈四角吊出退火后的线圈。

退火方法可用大电流发生器，向线圈内通入大电流，或者用氧乙炔火焰烘烤。修理单位缺乏无氧退火炉，一般加热炉温度又低（一般 200 ℃以下），所以只能采用局部退火。

从冷水中捞出线圈后，先用钢丝刷刷去烧焦的旧绝缘，然后用砂纸和抹布打磨铜线，要求铜线表面光亮、无黑斑和毛刺。有故障的铜线剪掉，补焊同规格的新导线。

经过打磨和补焊后的线圈，要放在整形模内整形，在线圈的鼻端线匝间垫入等于匝间绝缘厚度的临时绝缘纸板条。目的是使整形后的线圈有包匝间绝缘的空间。

整形要求是线圈外形和尺寸符合要求，导线平整，无扭曲，线匝间靠紧。

最后，按原始记录包扎匝间绝缘和对地绝缘，热压成型。

（三）新线圈的绕制

为了绕制新线圈，必需制做绕线模。对于小线圈，工厂师傅是用 $\phi1.81$mm 左右的圆铜线围绕旧线圈或铁心尺寸用手撼出绕线模尺寸，按此尺寸制作绕线模。这种方法简单，但不易精确。下面介绍绕线模简单计算方法。

1. 软绕组绕线模尺寸计算

绕线模宽度 b

$$b = y_z t_2 \left(\frac{1 - h_2}{D_a} \right) \text{ (mm)}$$

$$t_2 = \frac{\pi D_a}{Q_2} \text{ (mm)}$$

绕线模长度 l_1、l_2

$$l_1 = l_a + 0.4b \text{ (mm)}$$

$$l_2 = l_a + 30 \text{ (mm)}$$

式中　y_z——槽节距；

t_2——槽距，mm；

D_a——电枢直径，mm；

h_2——槽高，mm；

l_a——电枢铁心长度（包括通风沟在内），mm；

Q_2——电枢总槽数。

圆弧半径 R_1 取 15mm，R_2 取 5mm 左右。

以上尺寸如图 1-74 所示。

图 1-75 是通用绕线模和专用绕线模示意图。

2. 硬绕组绕线模尺寸计算

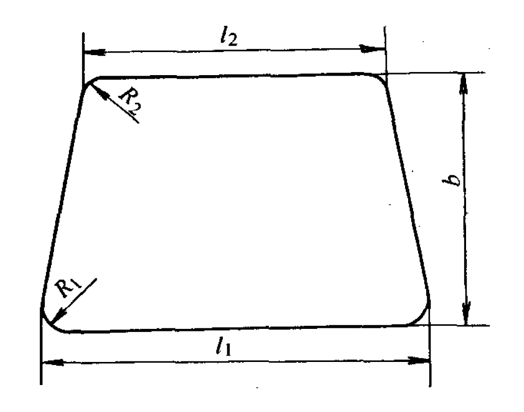


图 1-74　软绕组绕线模尺寸图

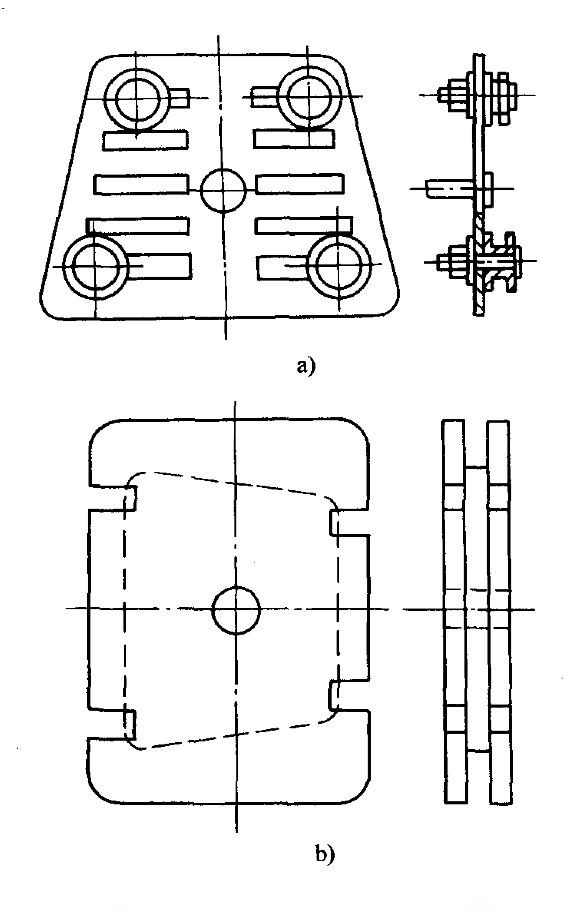


图 1-75　电枢软绕组绕线模示意图
a）通用绕线模　b）专用绕线模

采用扁铜线绕制电枢线圈时，绕出梭形线圈后要经过拉形，达到完整的线圈形状。

硬绕组绕线模长度 l（图 1-76）。

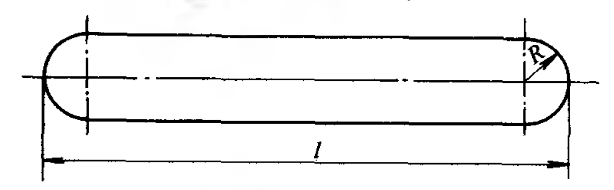


图 1-76　硬绕组绕线模尺寸图

$$l = 1.45\tau + l_a \text{ (mm)}$$

式中　τ——极距，mm；

l_a——电枢总长（包括通风沟在内），mm。

圆弧半径 R 一般取 5mm 及以上。

电枢硬绕组绕线模示意图如图 1-77 所示。

3. 硬线圈扁绕工具

修理单位一般缺少扁绕机，对于扁绕线圈是采用手动扁绕工具制成的。为了帮助中小型电机修理厂能够修理扁绕硬线圈，特将某修理厂的手动扁绕工具介绍如下。

图 1-78 是手动扁绕工具装配示意图。

为了修理单位制造方便特将此装配图的各零件尺寸详细介绍于图 1-79 到图 1-84 之中，修理单位可参考自行制作。

为了修理厂更详尽地了解这种工艺过程，特介绍 12.2kW 直流机电枢线圈扁绕的全部工艺过程。

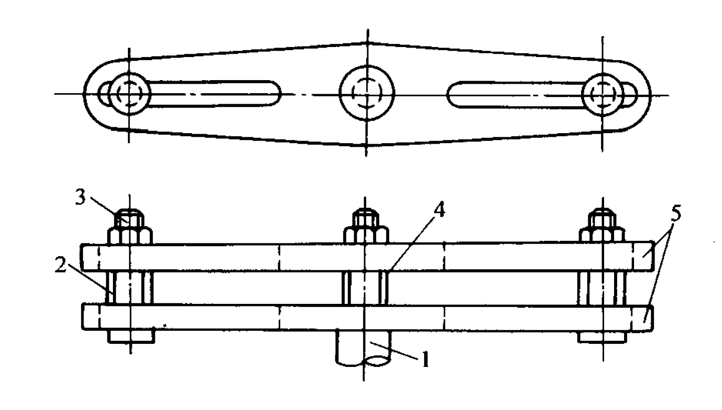


图 1-77 电枢硬绕组绕线模示意图
1—芯轴 2—圆柱套 3—定位螺钉 4—支承轴套 5—上下底板

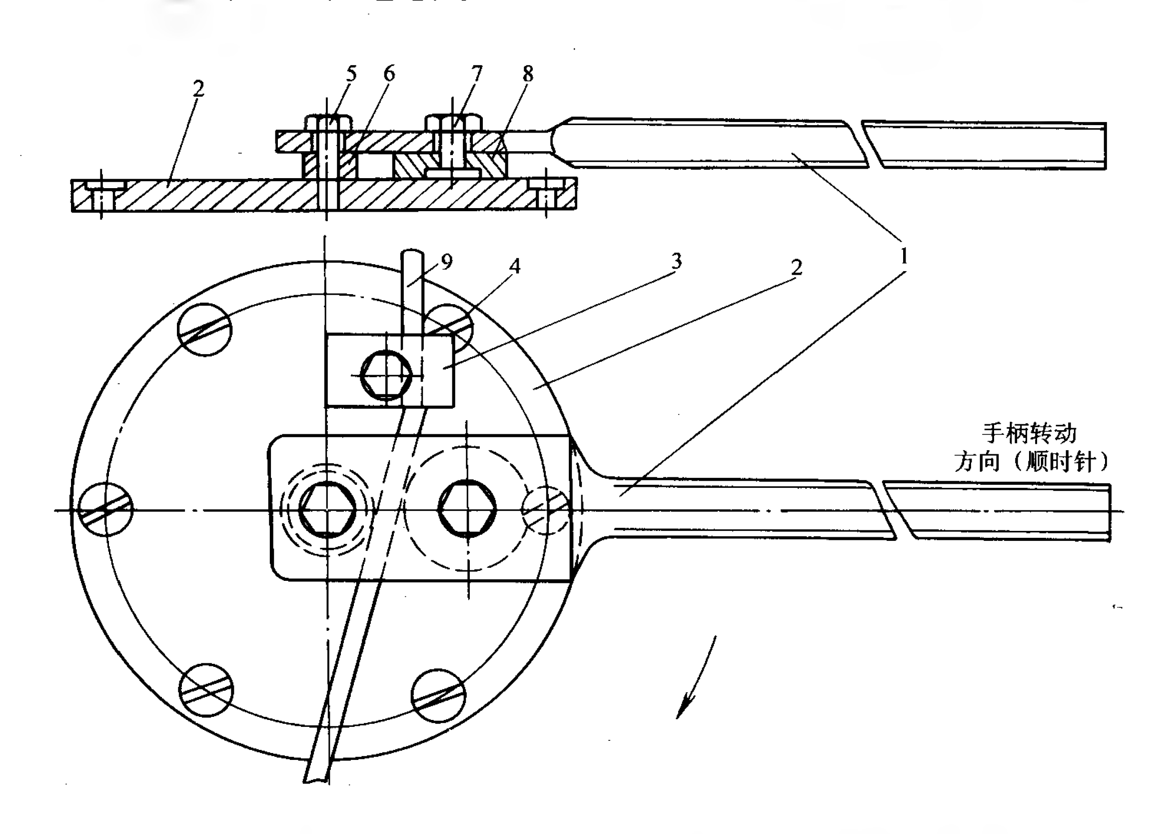


图 1-78 手动扁绕工具装配示意图
1—手柄 2—底盘 3—压紧块 4—M8 埋头螺钉 5—M8 固定螺钉 6—轴心环 7—M10 螺钉 8—钢环 9—导线

（四）12.2kW 直流机电枢线圈绕制实例

利用扁绕工具（见图 1-90）可以绕制扁绕的线圈，不必购买昂贵的扁绕机，这对乡镇企业小规模电机修理单位是非常有用的。下面用 12.2kW 牵引直流电动机电枢绕组扁绕实例介绍在扁绕工具上绕制扁绕线圈的工艺程序和线圈绝缘方法。

1. 下料

单波绕组，因槽数与换向片数比为 1∶5，所以采用 5 根扁铜线并绕。

首先按原始记录进行下料，下料长 1550mm，然后在平台上敲平（导线规格 1.0mm × 6.7mm）。

2. 包人字布带（保护带）

将敲平的扁铜线（双玻璃丝包铜线）每 5 根作为一捆，用人字布带包紧，然后在长 1550mm 的中间用笔画出标志（用 1-1′表示，见图 1-85）。

3. 在扁绕工具上绕制线圈

第一步在画 1-1′标志处撬弯，成 U 形，如图 1-85a 所示。

第二步在画 2-2′标志处顺时针撬弯，如图 1-85b

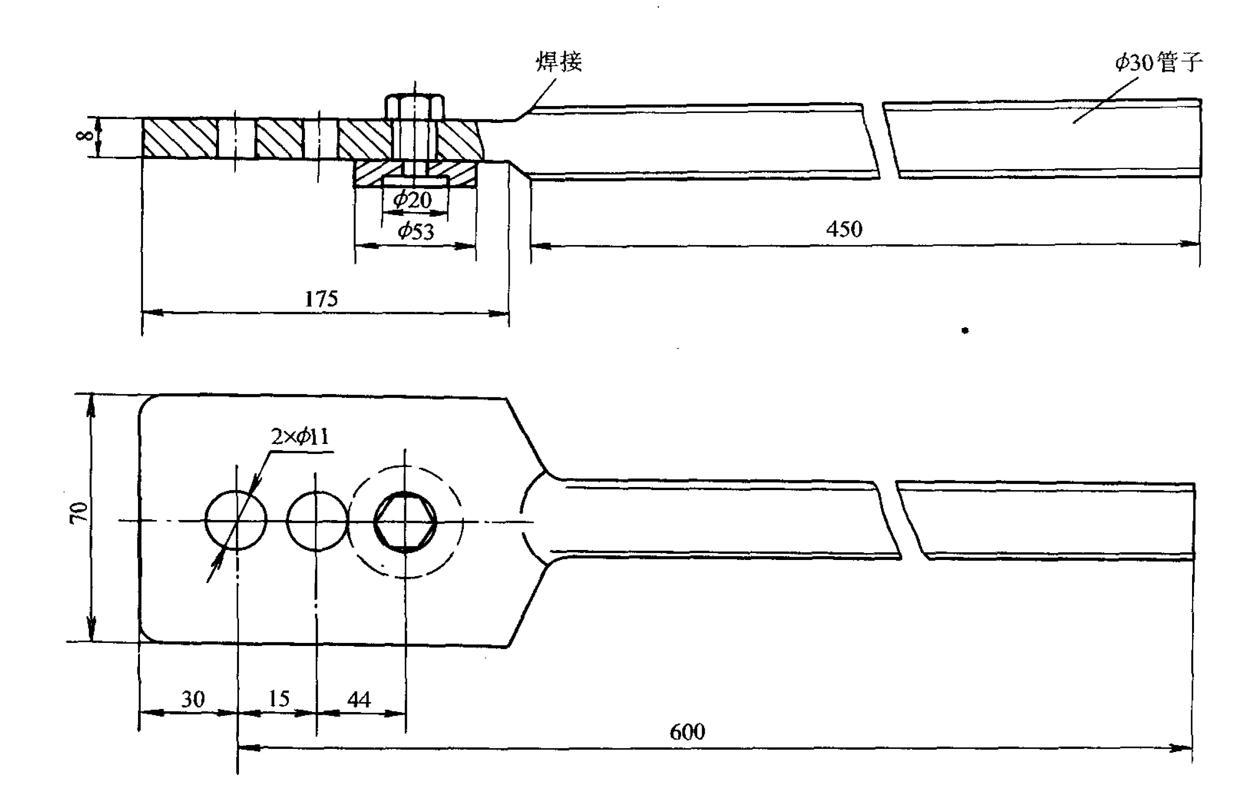


图 1-79　手柄（与钢环装配）

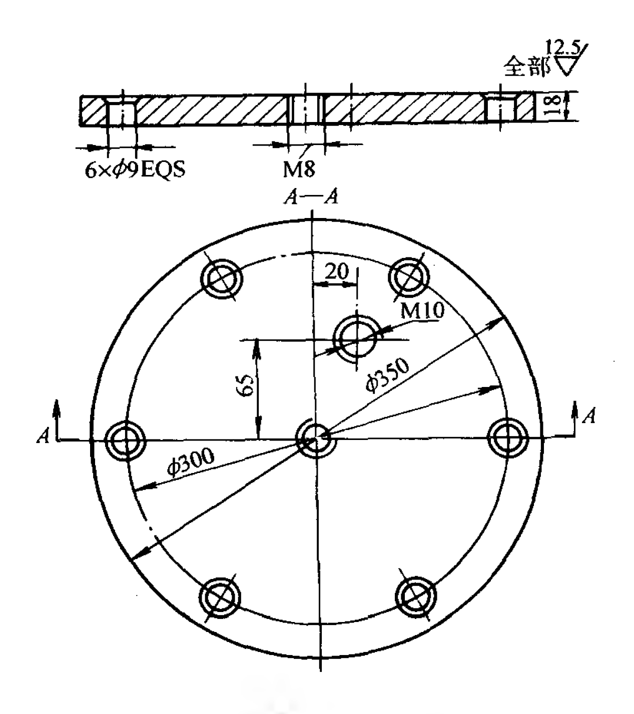


图 1-80　底盘 Q235、A 级 1 件

注：用 6 只 M8 埋头螺钉将此底盘固定在操作台上。

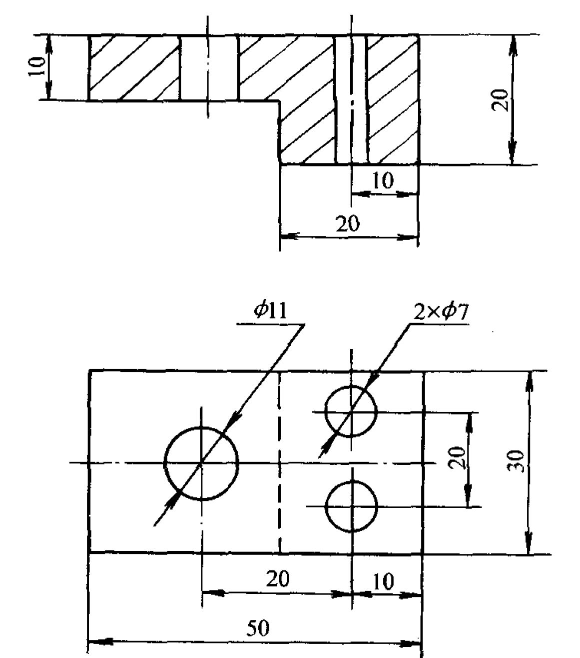


图 1-81　压紧块　45 号钢 1 件

注：φ11 和 φ7 孔供 M10 和 M6 螺钉穿过

所示。

第三步再将标志为 A 的导线逆时针搬过来，如图 1-85c 所示。这样棱形线圈绕制完成。

4. 在虎钳上张形

为了在虎钳上进行张形，事先应做 2 套钢拉板，每套钢拉板上有 4 个螺孔，拉板长度按线圈直线长度选定（见图 1-86）。

首先将上拉板上 4 只螺钉将线圈的上层边固定好，要事先画好固定位置，否则线圈弧形后各线圈尺寸不一致。同时将下拉板也用 4 只螺钉固定好（见图 1-86）。

将下拉板夹在虎钳上、用手拉动上拉板（见图 1-87），则线圈张形完毕，用尺检查张形后线圈尺寸是否符合要求。线圈整形和尺寸检查见图 1-88。

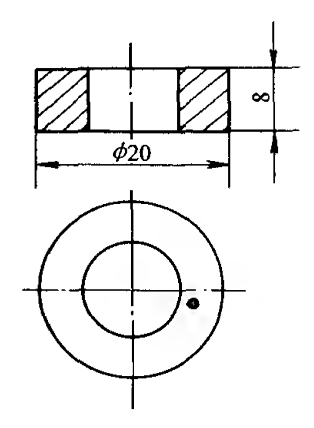


图 1-82　轴心环　45 号钢 1 件

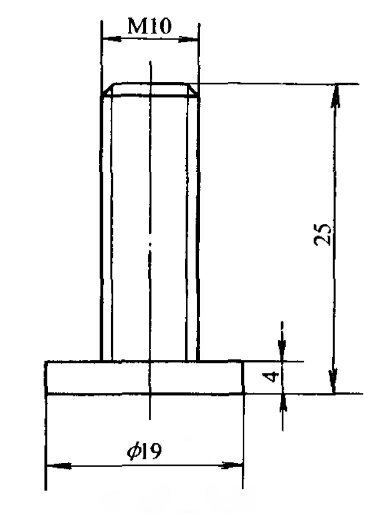


图 1-83　特制螺丝　45 号钢 1 件

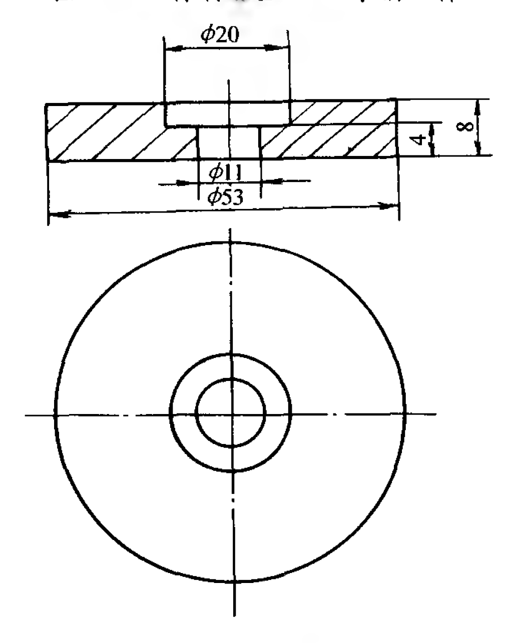


图 1-84　钢环　1 件

注：尺寸 8 按导线厚度确定，此处取 8 是为修理 37.5kW 牵引电机和电枢绕组用

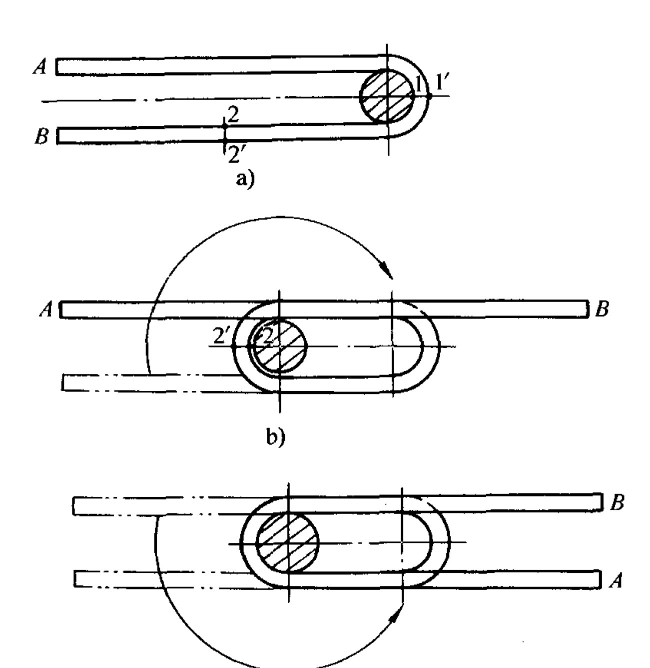


图 1-85　在扁绕工具上绕制线圈程序

a）在 1-1′标志处撬弯　b）将标志 B 端顺时针撬弯　c）将标志 A 端逆时针撬弯

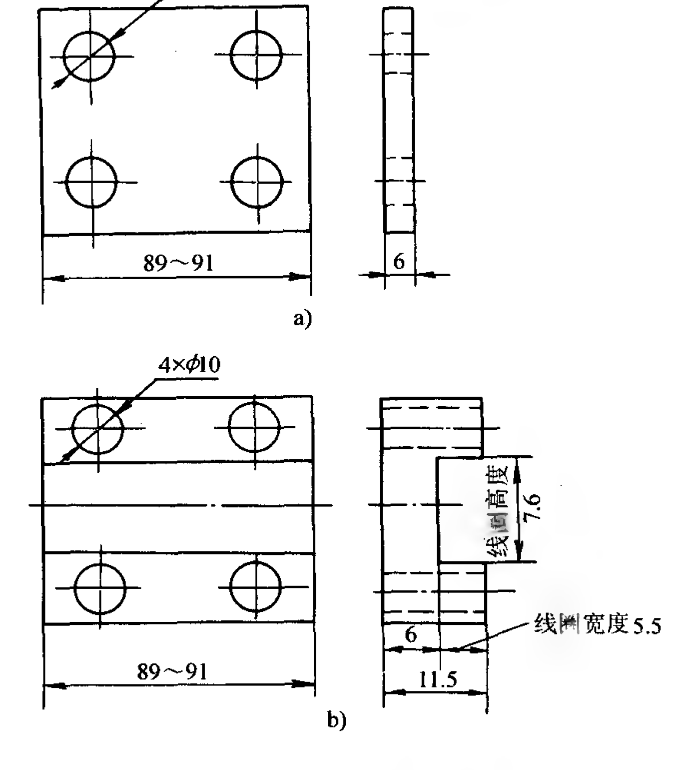


图 1-86　钢拉板形状

a）上盖　b）下模

钢拉板形状如图 1-86 所示。

5. 线圈包绝缘

1）线圈张形后，拆去人字保护带。

2）两鼻端包头，用聚酯胶带半叠包一层（如果线圈尺寸紧张，也可隔匝包尖）。

3）线圈直线部位的上下层间垫上绝缘垫条，导线合股，再用浸过稀漆的玻璃丝布带半叠包一层，除引线（180mm）部分不包之外，全线圈进行包扎。

6. 在平面上整形

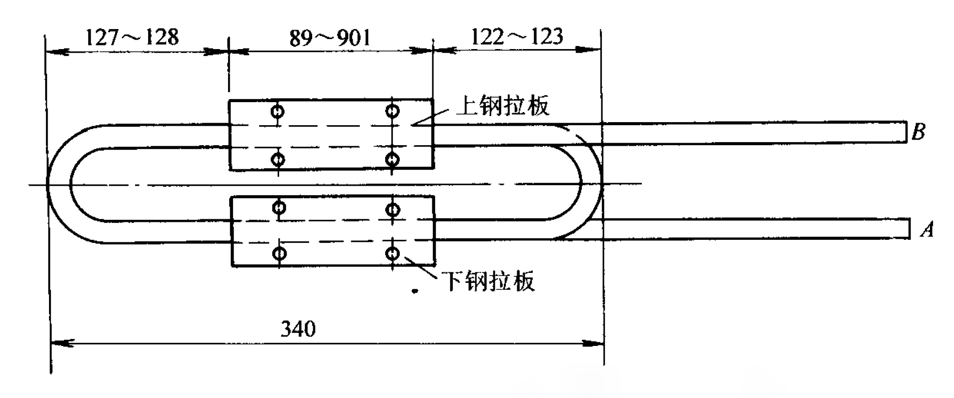


图 1-87　在虎钳上线圈张形

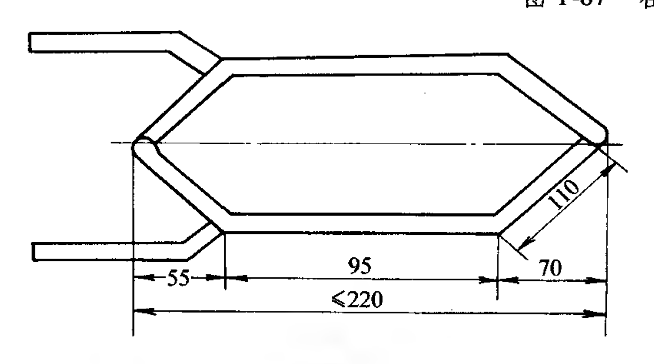


图 1-88　线圈整形和尺寸检查

线圈包好绝缘，在平台上将线圈直线部分敲平。

7. 线圈端部压弧形

将线圈放在弧形板上（弧形大小按电枢支架半径确定），用木榔头在弧形板上敲形。

8. 最后检查

线圈整形后，做最后尺寸检查，只有首件合格后才能大批施工。

9. 操作注意事项

1）导线在扁绕工具上进行绕制线圈时，要按事先画好的标志线将导线固定好，不可松动，否则绕制的线圈尺寸不一致，造成嵌线困难。

2）在虎钳上张形时，要事先做出样板进行检查。

3）线圈在扁绕过程中，原导线绝缘在线圈鼻端会拉破，所以在鼻端包尖的工序非常重要，否则会造成匝间短路。

4）首件必需严格检查，最好嵌入槽内试试，只有合格后才能进行大批制作。

5）线圈头的搪锡可在扁绕前搪完。

四、绕组嵌线工艺

（一）散嵌软线组嵌线

1）首先按原始记载的标记，在标记槽内嵌放第一个线圈的下层边，为此把线圈直线部分的线匝捻扁，从铁芯槽的右端倾斜方向将线匝嵌入槽口内，并慢慢向左拉入槽内。带引线的一匝导线，应最先嵌入槽底。这时活动线圈，使线匝有次序的排列和无交叉现象。然后穿入层间绝缘，校正线圈直线部分、槽绝缘和层间绝缘伸出铁芯的长度，使伸出铁芯两端长度相等。最后将此线圈的上层边推到一个节距的槽口前，并比一个节距大出半个槽的铁心上部，再将线圈两端后侧向内下压，使导线排列整齐、紧密。

2）按换向器标记的节距记号，嵌钉下层引线头。为此要先将绝缘套管根部紧靠槽绝缘，套管头端紧靠换向片槽根部，使引线紧贴绝缘支架或绝缘的轴台上，互相靠紧，排列整齐。然后用手锤将线头轻轻敲入换向片的槽口底部。要求线头与换向片槽口配合紧密，如果线头太粗，可先用手锤在铁平台上敲扁些再嵌入换向片的槽口内。

3）多根并绕或不同匝数并绕的线圈引线头，应采用分色套管，以防止交错。引线头钉入换向片槽后，用两倍于换向器周长的无碱玻璃丝带2根将线头靠近换向器的槽根部位进行保护编织。

4）依次嵌完第一个节距线圈的下层直线边和下层引线头。每嵌入一个线圈，应在两端部垫好端部层间绝缘，整理形状，使排列整齐、紧密。当嵌完一个节距数的线圈后，可按节距开始在第一个线圈的下层边上嵌放上层直线边。首先将上层直线边的线匝捻扁，用理线板将线匝埋入槽内；然后将上层引线头的一匝导线排在槽内导线的最上面。修剪高出槽口的槽绝缘，用线压子将导线包在槽绝缘内，并打入槽楔，将引线套管压在槽楔下。在线圈两端垫好层间绝缘，整理好形状，并用打板进行端部整形。

5）每嵌完一个线圈，要用低压校灯检查上下层引线头排列顺序是否正确。最后将上层引线头理直折回，贴在槽口上部，准备以后一起回复嵌槽。按上述方法将其余线圈嵌入槽内。

6）当下层线圈边嵌至与第一个节距的上层线圈边相遇时，要把原上层线边向后翘起一定高度，使下层线圈边继续嵌入槽内，依次嵌入其余的所有下层线圈边。这时，将第一个节距翘起的上层线边逐个放下

来，嵌入槽内。

7）全部槽楔打入后，要整理线圈端部形状，修剪端部层间绝缘，伸出线圈为3mm左右。

8）用220V校灯测换向片间绝缘，并检查上下层线头排列是否有交错现象。

9）先做对地耐压试验后，把标记的第一个线圈的上层引线按标记的换向片位置，弯好形状，顺序排列引线，整理引线套管，再将线头轻轻敲入换向片（或升高片）槽内。然后用低压（24V或36V）校灯逐个检查线头是否正确。最后用无碱玻璃丝带包扎好线头的绝缘。

10）整理好上层引线排列，要敲打平整，并做好焊前保护措施。切断上下层线头伸出换向片槽口多余部分。最后测片间电阻和耐压试验。

（二）Z系列半开口槽的电枢硬绕组嵌线

1. 嵌线前的准备工作

（1）准备好所需材料、工具和设备。

（2）按原始记录或图纸尺寸要求，裁剪好槽绝缘和绕组层间绝缘，并检查这些材料规格是否符合原始记录或图纸要求。

（3）检查槽楔是否有弯折、扭曲、表面裂纹等缺陷，不合格的槽楔不能使用。将合格的槽楔挑选出来后，用砂纸磨去尖角，前端底部要削出坡度，便于嵌入槽内、不会刮破绝缘纸。

（4）用起重工具或设备将电枢吊放在嵌线托架上，如图1-89所示。

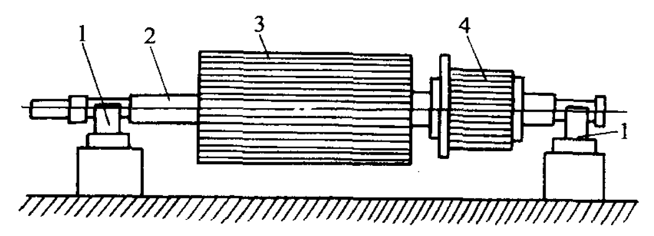


图1-89　电枢放在支架上

1—托架　2—转轴　3—电枢铁心　4—换向器

（5）电枢经吹风清理后，测换向器片间电阻，用220V试灯测量片间绝缘情况，应无短路现象。

（6）换向器在嵌线前应做耐压试验，耐压合格后才准许嵌线。

（7）仔细检查铁心槽内残余绝缘和异物；槽内是否清理干净；槽口铁心是否整齐，有无毛刺；齿压板是否牢固，如发现松动或开焊现象，必须处理好后才准许嵌线。最后，要求槽底、槽壁铁心冲片整齐，个别毛刺要锉掉、锉平。清理线圈支架的尖角和毛刺。

（8）按原始记录或施工图纸给出的线圈节距，检查换向器节距 y_K 和电枢节距 y，复查记录是否正确，必要时要经2人复查其准确性（见图1-90）。

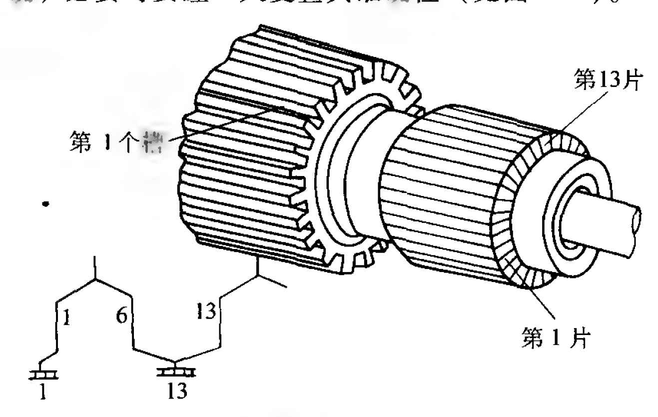


图1-90　在铁心槽及换向器端面的换向片上做绕组及换向器的节距记号

（9）包扎支架绝缘

1）用压缩空气吹净绕组支架表面灰尘。

2）按原始记录或绝缘规范包扎绕组支架绝缘（见图1-91）。

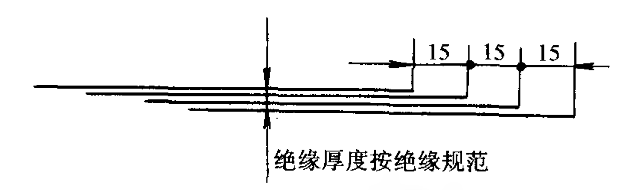


图1-91　支架绝缘接缝距离

3）包扎支架绝缘时，要边绕边用手拉紧，或用橡皮槌敲打，使绝缘紧贴支架表面。

（10）电枢线圈嵌线准备

1）将槽绝缘、上下层线圈垫条、槽楔等试放于一个槽内，以确定垫条是否能使槽部垫得很紧，如果不紧，可在槽底或层间加放绝缘垫条。槽绝缘伸出槽口尺寸如图1-92所示。

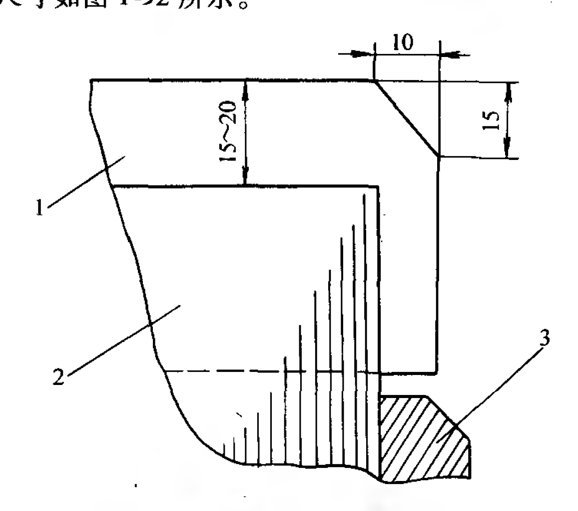


图1-92　槽绝缘伸出槽口尺寸

1—槽绝缘　2—铁心　3—齿压板

2）将线圈的接线头套以不同颜色的套管，不同

颜色的数量决定于单个线圈的线匝数。并放好槽绝缘，如上图所示。

2. 嵌线工艺过程

1）将第一个线圈的下层边放于电枢槽内，用线圈打板紧紧敲打，使线圈边压入槽底。

2）将套有不同颜色的套管的线圈接线头，按照规定，整齐地连好。

3）用扁咀钳子将线圈接线头放到换向器升高片的接头片套内。

4）按上述操作程序嵌入其余线圈的下层边，并用木槌垫着木板打平绕组端部。

5）在换向器端的绕组端部外圆上，用亚胺薄膜带将出线头包好绝缘，并按照原始记录垫放端部层间绝缘。

6）根据原始记录或图纸垫放槽内的层间绝缘。

7）根据作好的节距记号，放上层线圈边，分2~3次放入。

8）根据换向器节距及接线所套的套管，连接好上层线圈边的接线头。

9）用线压子压紧线圈的槽内部分。

10）用木槌隔着打板拧紧绕组的端部。

11）在槽口高度方向剪去多余的槽绝缘，剪时应考虑到两边槽绝缘整理好重叠于槽口的线圈边上。

12）用嵌线打板将槽绝缘压放在槽内。

13）将槽楔打入槽内。当槽内不紧时，可在槽楔下面垫放玻璃丝布板垫条。

14）用手槌垫着打板敲打绕组的端部，使之达到原始记录或图纸的要求尺寸，其同心度可用钢板尺放在铁心表面来检查。偏心不能超出2mm。

15）用手锯割断从升高片接头片或铜片开口处伸出的线圈接线头。

16）用扁咀钳整理好已放好接线头的升高片。

17）用36V试验灯检查接线头是否正确。

18）按图纸规定的玻璃丝绳绑扎线圈的接线头。

19）将电枢交质量检查员或组长进行外部检查，并按试验规范进行对地耐压试验。

20）按槽节距试片间压降，通入电机额定电流的30%~50%的电流，测定片间压降，其最大与最小值与平均值之差不得大于±5%。

（三）Z系列开口槽电枢硬绕组嵌线

1）用扁嘴钳子校正线圈上下层的接线头。

2）用扁嘴钳子整理换向器的接头片。

3）将第1个线圈的下层边放到电枢槽内，并将接线头放到做有换向器节距记号的接头片（即升高片）内，再用打板将线圈边轻轻地打至槽底，用扁嘴钳将线圈接头打至接头片的底部。

4）以同样的方法在一个线圈节距的范围内，放其余线圈的下层边于铁心槽内。

5）再将1个线圈下层边放到第二节距内的第1个槽里，并将此线圈的上层边放到第1个节距的第1个线圈的上面。最后将第1个节距内的上层边放到槽内，在放上层边前，要在槽内放进层间绝缘垫条，其宽度同槽宽，长度较线圈直线部分每边长5mm，并在前后端线圈端部的上下层之间垫放层间绝缘，其宽度与线圈的斜边部分尺寸相等。

6）用打板打紧线圈的直线部分。

7）用剪刀剪去槽绝缘在高度方向多余的部分，两边槽绝缘合拢时能重叠起来。

8）将槽绝缘合叠于线圈上面，并用打板打紧槽内部。线圈全部嵌完线后，将槽楔打入槽内。

9）槽楔应从一端打入，如果铁心全长内有3段槽楔，应先打好中间的一根，然后从两端打前后两根。

打槽楔后，应细心地检查其表面，将有裂缝、开口的槽楔打出重新换。为了使槽楔能打的紧，可按实际情况，随时在槽楔条下垫入不同厚度的绝缘垫条。

10）在换向器上作好节距记号的地方用试灯检查线圈实际所跨的节距是否正确，如图1-93所示。

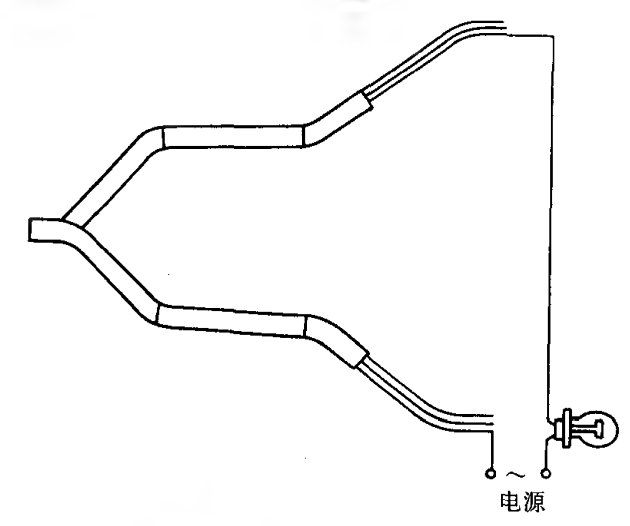


图1-93　节距试验

11）用扁嘴钳整理接线头与接头片。

12）在升高片间打入木楔片，它的厚度要使全部打好后，升高片的外圆呈一圆柱形。如果上下层接线头间有缝，应用相同线规的铜线塞紧，间隙不可超过0.1mm。

13）做接地耐压试验，并试匝间短路检查。

14）用割线头机或手锯割去从升高片里突出的线头，在切割时要注意铣刀与接头片平行，割头后前面要整齐一致。

15）用锉刀去掉铣刀铣后留下的毛刺及不平处。

16）最后检查接线头在升高片内的情况，升高片排列要整齐，整台升高片在径向呈辐射状态，不可有歪扭或不整齐的形状。

17）用试灯检查绕组接线头与换向片连接的正确性。

18）做匝间短路试验，并按绝缘规范做对地耐压试验，记录。

19）检查线圈端部伸出铁心长度及接头片位置是否正确。

20）检查槽楔固定情况，在槽楔上用木槌轻敲不许有空哑声。

21）槽楔不许突出铁心外表面（特殊电机例外），槽楔与槽楔之间不许留有间隙。

（四）大型直流电机电枢绕组嵌线

1. 嵌线前准备工作

1）仔细检查槽内残余绝缘和杂物，用36V可携式灯泡检查槽内清洁程度，如果有毛刺可用锉刀清除槽内毛刺、锐边和尖角。

2）用压缩空气吹净电枢支架、线圈槽部以及换向器上的灰尘和金属屑。

3）在铁槽内、端面及绕组支架上喷上绝缘漆一道。

4）用220V灯泡检查换向器片间是否有短路。

5）换向器要经对地耐压试验合格，否则不能进行嵌线。

6）仔细看好原始记录和图纸，弄清线圈型式、绕组联结方式、嵌线特点，同时检查电枢槽数，槽上的标志、换向片数，换向片上的标志。原始记录的标志一定要查清，确信无问题后才准许嵌线。

按原始记录或图纸要求准备好嵌线所需的一切材料。

7）按绝缘规范包好电枢支架绝缘。

8）整理好升高片形状和相互距离，各升高片应呈辐射状，要整齐一致。

2. 波绕组的嵌线工艺

1）按原始记录或施工图纸，放槽绝缘，使槽绝缘紧贴槽底，槽绝缘长度应比槽口高出20～25mm，伸出铁心长度每边为15～20mm。

2）找出波绕组下层起始边引线所联结的换向片，按原始记录标志查找，或按下法查找。

查找方法是用1根线绳拉直放于槽底中心线上，或用钢板尺放于槽底中心线上亦可，伸向升高片上找出正对槽中心的1个升高片，以此片向左或向右数C片，此换向片即为所要找的1片，如图1-94所示。

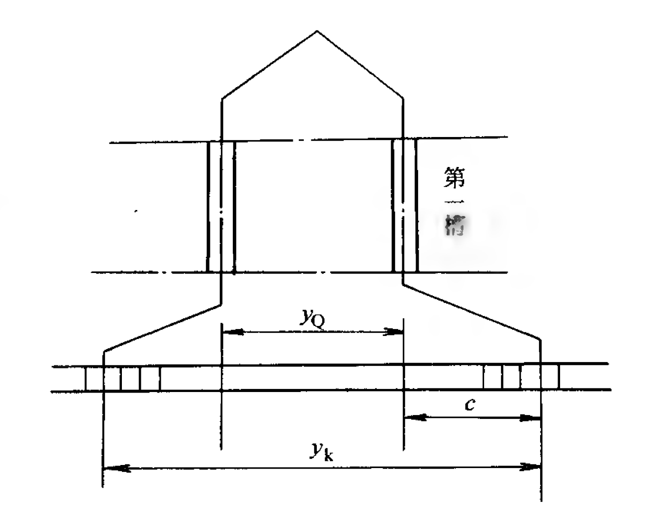


图1-94　波绕组下层起始边引线所连接的换向片查找法

c值的计算，按下式可求出：

$$c=\frac{y_K+第1槽内的槽片数-1}{2}$$

取接近的整数

式中　y_K——换向片节距；

y_Q——槽节距；

K——换向片数；

Q_r——槽数。

如果K/Q_r为整数，则该电机无死线圈（伪元件，即不与换向片联结的线圈元件）。

例：$y_K=61$、第一槽内的槽片数为3（因$K=123$，$Q_r=41$），所以

$$c=\frac{61+3-1}{2}=\frac{63}{2}=31\frac{1}{2}$$

说明线圈中心线通过云母片；如果c为整数，则线圈中心线通过换向片。

求出c值后，可按槽节距y_Q、换向片节距y_K，在相应的槽和换向器的升高片做一明显标志（也可用上法校对原始记录），要经两个人验证，无误后方可嵌线。

3）将线圈下层边的线头穿入换向器升高片套内，用平口钳进行整型。将线圈直线部分放入槽内，并垫上线圈打板，用手槌将线圈直线部分轻轻地打入槽底，同时整理线圈端部形状，使其正确地服贴在线圈支架上。用钢板尺量线圈端部长度，其长度应符合原始记录或图纸要求，并由两个人（或一名质量检查员）验证嵌线节距和位置的正确性。

4）在嵌好的下层边线圈上，试嵌上层边，检查线圈在槽内的松紧程度，以及高度、形状是否合乎要求，根据试嵌情况，在不影响绝缘规范条件下增减槽绝缘和层间绝缘，然后取下试嵌线圈。

5）试嵌完后，同上述方法嵌入其余线圈，再用橡皮槌敲打线圈端部，使之平整。相邻两线圈端部要相互靠紧，间隙均匀。线圈直线部分伸出槽口长度要一致。

6）按原始记录或绝缘规范在线圈端部垫放层间绝缘，垫放的绝缘每层要错开 15～20mm。

7）当开始嵌第 2 个槽节距的线圈时，即可将波绕组的线圈的上层边嵌于槽内，嵌放时先将线圈的线头插入升高片的套内，然后再将直线边嵌放在槽内，并按图纸或原始记录在槽内线圈的上下层间垫放绝缘垫条。

8）如果波绕线圈是半边线圈的型式，则在嵌线时，上下层线圈可以同时嵌线，但在最后 1 个节距线圈嵌线时，要把起始嵌线的上层边端部翻起，把上层端部和引线嵌入后再复原位。装并头套，一定要找好节距，联结要正确。最好在刚开始嵌线时，先把第 1 个节距内的第 1 个并头套先装上，再以此为准找其余的线圈引线。

9）在嵌线过程中，要垫上嵌线用的打线板，并用手槌将线圈敲入槽内，不可直接用金属锤敲打线圈。另外，要用橡皮槌敲打线圈端部整形，使上下层紧贴，相邻线圈端部要互相靠紧，使每个线圈鼻端至铁心的距离整齐一致，符合原始记录或图纸要求。

10）整台线圈嵌完后，要仔细检查联结线的正确性，并经质量检查员复查，再用灯泡检查联结的正确与否。

11）如果有死线圈（伪元件），要将此线圈接线头剪去，包上绝缘，安放好。

12）打入槽楔。检查槽楔完整情况和松紧程度。

13）做半成品试验，检查接线是否正确，并按修理试验标准和绝缘规范进行耐压试验。

14）用平口钳整理在升高片中的线圈接头。在升高片接线套间打入临时楔片。先沿圆周均匀地插入木楔片，然后逐渐打入塞紧。

15）用割线头刀片切去伸出升高片套外的接线头。在切割前要将割线头机垫平调整好，为保证在运转时不颤动。刀片要与升高片端面平行。在割线头时，注意刀片不要切割升高片套。刀片的直径要根据升高片的高度选择。

割线头机刀片的旋转方向要与电枢转动方向相反，如图 1-95 所示。

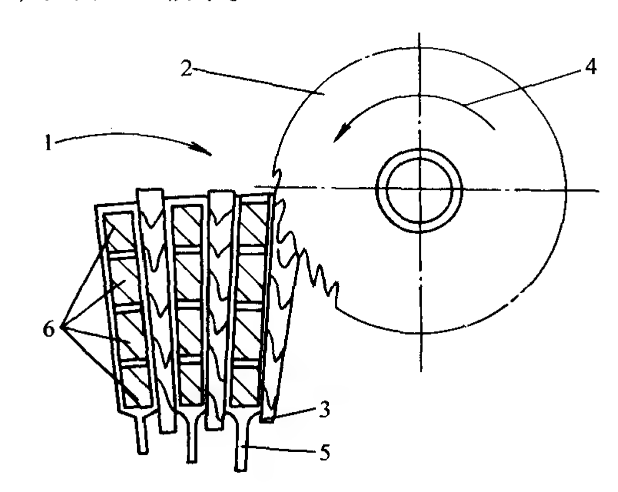


图 1-95　割线头机刀片旋转方向
1—电枢旋转方向　2—刀片　3—楔片
4—刀片旋转方向　5—升高片　6—导线

16）用锉刀锉去割线头后的尖角和毛刺。

17）在升高片套内打入铜楔，铜楔的长度与升高片的宽度相等，不可太长，以防刮破线圈绝缘。

3. 蛙腿绕组的嵌线工艺

1）蛙腿绕组一般是波绕组在槽底和槽顶、一边嵌入槽底，另一边嵌入槽顶，而叠绕组是在其中间，如图 1-96 所示。

由于波、叠绕组互为均压线作用，所以蛙腿绕组不再设均压绕组。图中 y_1 为叠绕组节距、y_w 为波绕组节距。

2）嵌线时，要严格控制波、叠绕组线圈的槽节

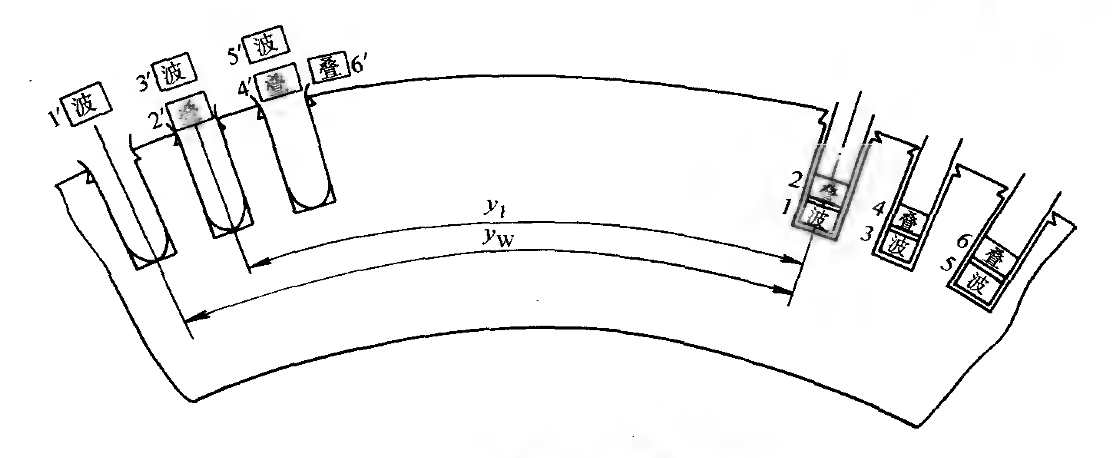


图 1-96　蛙腿绕组在槽内安置

距、换向片节距。以起始槽为基准找出波、叠绕组换向片节距的相对位置做一标志（复查原始记录标志），经两个人以上复校。

在嵌线过程中，要不时地校正和检查各节距的正确性，必要时要用计算方法复验。

3）嵌波绕组时，在每放好一个波绕线圈的下层边后，同时将该槽的叠绕组线圈下层边放进槽内。

4）按叠绕线圈节距的标志，嵌叠绕线圈的下层边线头相联结的接头片，并按原始记录或图纸校正是否正确。

5）在嵌第1个节距范围内的波、叠绕线圈下层边的过程中，波叠绕线圈的上层边暂放在槽外，如图1-96所示。也可先放二三个节距的波叠绕线圈后，再放叠绕线圈。

整理波、叠绕线圈的端部以及波、叠绕线圈间的相对位置，使线圈的鼻端距离一致，且符合原始记录或图纸的尺寸要求。

6）当开始嵌第2个节距的线圈时，波、叠绕线圈的下层边嵌入槽内后，其上层线圈边即可放在第1个节距的相应的下层边上面。

7）继续嵌放波绕线圈，在波绕线圈端部间和叠绕上下层端部门，垫放层间绝缘。

8）在嵌放叠绕线圈时，要经常注意线圈端部的位置是否正确，相邻的线圈端部互相应靠紧，间隙要均匀。

9）在嵌放最后1个节距的波、叠绕线圈时，要将第1个节距的上层边向外撬开，但要注意勿使绝缘受损伤。在嵌放每个线圈时，要用打线板垫在线圈上，以橡皮槌敲打，使之紧贴于槽底，并使线圈层间相互靠紧，使间隙均匀。

10）有的绕组型式为了加强线圈后端部的通风，在线圈邻边部分采取阶梯形状，在嵌这种线圈时，一定要使上下层的线圈边对齐，保证通风孔空隙位置正确。

11）开始放置最后几个线圈的上层边时，为不使在端部有放不进的现象，可先将上层线圈边线头插入升高片接头片的套中，线圈的直线部分暂不放入槽内，待端部整理好，使线圈的端部都能嵌入时，再将直线部分放入槽内。嵌放时必需依次将直线部分沿轴向向后端串动一个距离，逐个嵌下线圈。

12）叠绕组的嵌线工艺与波、叠绕线圈中的叠绕线圈嵌线工艺相同。

五、均压线圈的嵌线工艺

常见的均压线结构形式如图1-97所示。

1）按原始记录或图纸规定的程序嵌接线。

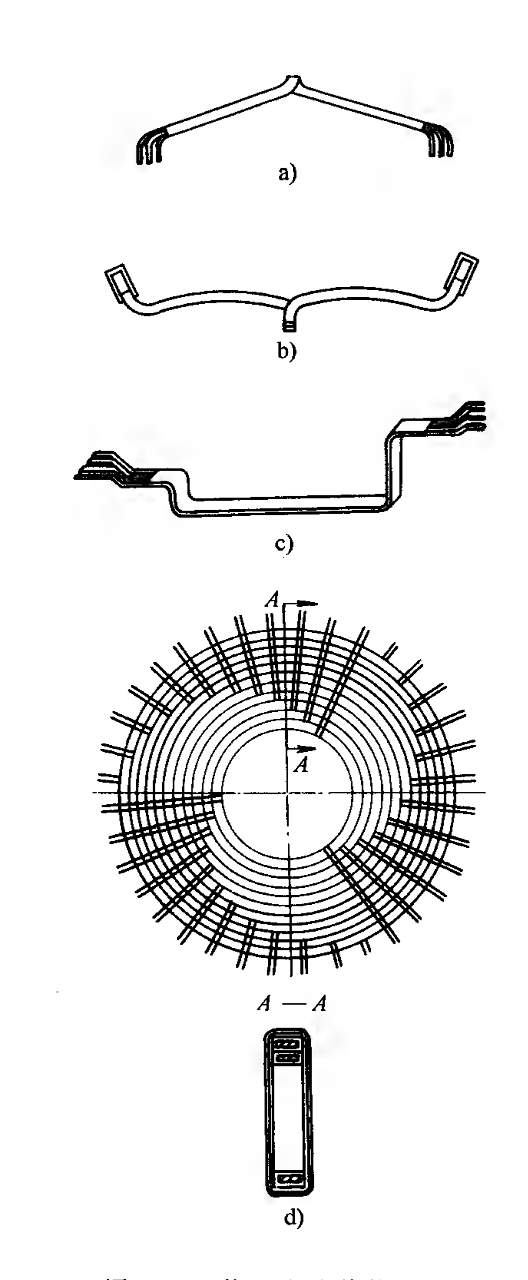


图1-97　均压线的结构形式

a）人字式　b）渐开线式　c）条式　d）环式

2）对于复波绕组采用乙种均压线的嵌线如图1-98所示。均压线圈为整体嵌线时，在电枢支架压板上固定绝缘垫板，再装整体的均压线圈，按均压联结线的节距进行接线，经检查无误后，再用压板压牢固定。

3）对双闭路双叠绕组采用全均压丙种均压线的，均压连接线穿过铁心连接前后端均压点的，要固定牢靠。

4）对单叠绕组采用甲种均压线的，均压线圈为单匝，嵌线时按原始记录或图纸确定的节距接线，单匝嵌入（如图1-99所示），先将绝缘垫板固定好，再进行嵌线，匝间扇型绝缘垫片要一边嵌线一边放入。嵌完线要检查无误后，再用绝缘压板固定牢靠。

5）涡卷式均压线的嵌线，其均压线即为换向器升高片，在嵌这种均压线时，是先把均压线焊接在换向器

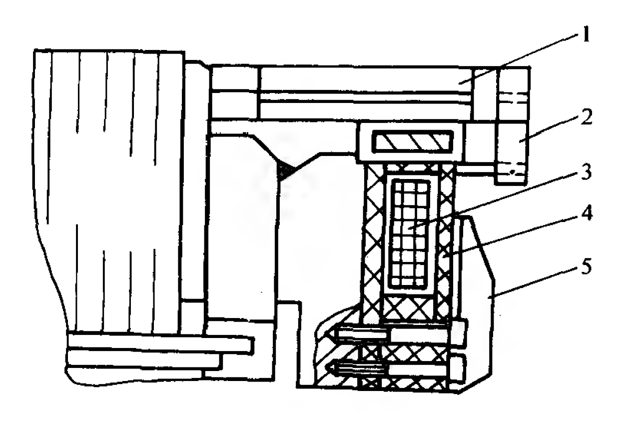


图 1-98 复波绕组采用乙种均压线的嵌线图

1—电枢线圈 2—并头套 3—均压线圈 4—绝缘压板 5—压板

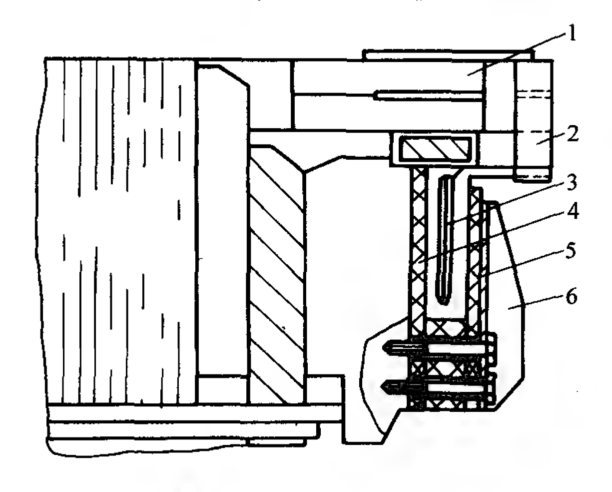


图 1-99 单叠绕组采用甲种均压线的嵌线图

1—电枢线圈 2—并头套 3—均压线圈 4—绝缘垫板 5—绝缘压板 6—压板

片的接头上，摆好均压线圈的接头套位置，再用绝缘压板和固定螺钉按图纸或原始记录固定在电枢压板上。

6）均压线圈的耐压试验阶段和耐压等级均与电枢绕组的相同。

7）电枢外径在 ϕ1800mm 及以上者，在打槽楔之前，应将绕组端部用临时钢丝绑扎。

预扎的临时钢丝每段 15 ~ 20mm，钢丝下面垫上临时垫条。

8）打入槽楔前检查接线是否正确，打入槽楔后按绝缘规范进行绕组耐压试验。

9）打入木楔，整理升高片；割线头等工作同前叙。

10）接头片与线圈焊接。

11）拆除临时钢丝，按要求进行无纬带绑扎。

六、绕组接线特点

1. 单叠绕组的接线特点

如图 1-11a 所示，是 4 极的单叠绕组，具有 16 个线圈元件。它的连线方法是先第 1 个元件线圈的下层引线端与其相邻的第 2 个元件线圈的上层边引线端一起焊接在同一个换向片上；然后按相同次序连接下去，一直到最后 1 个元件线圈的下层边引线端与原始第 1 个元件线圈的上层边引线端焊在最后的一个换向片上，构成闭合回路。因此，在连接前，要做好标记，比如绕线方向、线圈节距、换向片节距等。并画出接线草图。

在接线时，要对照草图和原始记录进行检查。

2. 复叠绕组的接线特点

如图 1-11b 所示。是 4 极电机的复叠绕组，它具有 24 个线圈元件。它与单叠绕组的区别在于换向器节距不是 1，而是 2 以上（本例为 2），即为双叠绕组。元件线圈 1 的下层边引线端不是与元件线圈 2 连接，而是接到元件线圈 3 的上层边引线端一起，被跳隔开的偶数元件线圈又构成另一单叠绕组，而奇数元件线圈构成一个单叠绕组，各自形成一个闭合回路。最后通过电刷并联在一起，成为双闭路复叠绕组。

如果元件线圈数和换向片数均为奇数，则绕组要通过所有元件和换向片后才闭合，形成单闭路复叠绕组。

3. 单波绕组的接线特点

图 1-11c 是 4 极电机具有 15 个线圈元件的单波绕组展开图。其绕组元件 1 的起端连接到换向片 1 上，其元件边放在 1 槽的上层，而元件的另一边放在 4 槽的下层，其末端连接在换向片 8 上；元件 2 的起端连接在换向片 8 上，其元件边放在 8 槽的上层，元件的另一边放在 11 槽下层，其末端连接在换向片 15 上；依此顺序排列下去，直至全部线圈元件连接闭合为止。

可见这个绕组连接的特点是先串联所有 N 极下的上层元件边和 S 极下的下层元件边，组成一条支路，然后串联所有 S 极下的上层元件边和 N 极下的下层元件边，又组成了另一支路。因此只有两条支路。

4. 复波绕组的接线特点

图 1-11d 表示 4 极电机具有 16 个线圈元件的复波绕组展开图。它的实质相当于两个或以上的单波绕组交叠在一起，并靠电刷并联起来工作。它和复叠绕组一样也有单闭路和双闭路两种。

5. 蛙形绕组的接线特点

图 1-11e 和 f 表示蛙形绕组展开图。它是将叠绕组和波绕组同时嵌在一个转子内，两套绕组在每个换向片上并联焊接起来，所以每个换向片上焊有四个线头，其中二个属于波绕组；另二个属叠绕组。这种绕组特点是节省均压线。因为叠绕组对波绕组起乙种均压线作用，而波绕组又对叠绕组起甲种均压线作用，所以不再另加均压线。

七、电枢绕组的焊接

1. 准备工作

焊接前，要准备好焊接材料、焊接工具和设备。中小型电机常采用含锡、铅各50%的软钎焊料，有时也选用纯锡软钎焊料；小型电机常用焊锡丝。焊剂是采用松香或松香酒精溶液，但不许用酸性焊剂，以防腐蚀绝缘。大中型直流电机和绝缘等级较高的电机。要采用硬钎焊料，如磷银铜焊料（料204）或银铜焊料（料303）等。焊接方法，在修理单位常采用电烙铁、火烙铁、氧乙炔气、喷灯、碳精夹钳等设备。少数修理单位则用氩弧焊机和中频感应焊机等设备。

对于小容量电机，又不具有升高片的转子，放置在转子支架上时，应使转子的换向器端略低些，以防焊接时焊锡流入线圈内部。大中型转子可以水平放置在转子支架上。

在施焊前，要将换向器不需焊接的部分包扎好，保护换向器表面、V形环缝隙以及云母沟内不许流入焊锡。对于大中型换向器，为了便于焊接时保持温度，在烘炉内要预热80～100℃，然后趁热焊接。采用软钎焊接时，要在施焊处的下方放置接滴锡的凉水盆。

要整理好升高片形状和相互之间的距离，要求各升高片间距均匀。焊接部位的平面要干净，事先应搪好锡，焊接面与导线头接触要紧密，不能有较大空隙。导线在并头套内的间隙应符合规定，一般为0.1～0.2mm。

2. 软钎焊的焊接工艺

将烙铁加热成暗红色（400℃左右），擦除尖口烙铁表面上的氧化层，平稳地插在嵌有导线的换向片槽口的施焊部位，并在烙铁下面压入焊锡条和松香粉；然后用焊锡条蘸松香粉涂在换向片槽口的焊接处，待松香粉开始冒烟时，再将焊锡条靠在焊接处进行焊接，使溶锡渗透到换向片槽口与导线头之间的焊缝内，要焊饱满。按上面相同办法，依次焊接其余的线头槽口。焊完一周后，将余锡擦净。

对有升高片并头套的换向器的焊接，应使焊接位置稍靠轴中心线下方几个换向片的位置施焊。在施焊前，必须在升高片之间插入梯形木楔，使升高片在焊接时不倾斜变形，保证并头套内间隙正常，从而保证焊接质量。

首先把加热的平口形烙铁平稳地从端面插入被焊接的并头套的下间隙内，将松香粉撒在并头套和烙铁的接触面上，同时把焊锡条靠在烙铁与并头套接触部位，在并头套两端要涂抹溶锡，使并头套内填满焊料。然后平稳地拔出烙铁，迅速插入下面套间（去掉木楔），继续焊接第二个并头套。同时用刮板将前一个并头套内流出的锡瘤趁热刮净，使光亮平坦。

转动转子，继续按上述操作方法焊完所有的升高片的并头套。

焊后，要清除焊锡瘤和毛刺，以及附近的焊渣。经过吹风清扫后，要测试片间电阻，并符合试验标准。同时检查焊区附近绝缘，应无烧伤现象。焊接点应光洁平整、无虚焊现象。

3. 硬钎焊接的工艺

随着电机绝缘等级的提高，要求修理电机时，焊接质量也要提高，也就是要求焊接点的机械强度高、耐高温，又便于操作。因此以往采取的软钎焊的焊接方法不能满足工艺要求，逐渐向硬钎焊的焊接工艺发展。硬纤焊料的熔点和抗拉强度较高，导电率较好。常用的硬钎焊料有磷银铜焊料，型号为HLAgCu80-5（料204），熔点为640～815℃，抗拉强度为5.13MPa，电阻率为0.120Ω·mm^2/m和型号为HLAgCu30-25（料303）的银铜焊料，其熔点为660～725℃，抗拉强度为3.94MPa，电阻率为0.093Ω·mm^2/m。而以往所使用的锡铅软钎焊料（料603）的熔点只有183～235℃，抗拉强度为0.38MPa，电阻率为0.182Ω·mm^2/m。可见硬钎焊料在各方面均优于软钎焊料，但由于硬钎焊料熔点高，在施焊时容易烧焦焊区附近的绝缘，因此要求施焊时间要短（约20～30s），热力要集中，使热影响区小。

焊接方法有中频焊机加热焊接、电阻加热焊接、氩弧焊机加热焊接、碳精加热焊接以及氧乙炔焰焊接等方法，对于一般修理单位只有最后两种焊接的手段。

在施焊前，要先用防热材料（如石棉纸、石棉布等）将线圈绝缘与焊接靠近部位隔上或者用水冷却，然后才能施焊。

采用碳精夹钳夹住换向片和焊接部位，待烧红后，涂抹磷银铜焊条，就可简便地施焊，并能获得较高的焊接质量。

八、嵌线焊接后的质量检查

1）电枢嵌线、打入槽楔和接头片打入木楔片后割线头前，要测量绕组的绝缘电阻和按绝缘试验规范做对地耐压试验。

2）电枢线圈焊接后，要检查换向器片间压降，片间电压降的最大值与最小值与片间电压降的平均值之差不应大于±5%。

3）检查线圈端部尺寸是否正确，层间绝缘不应有错位情况。

4）槽楔应整齐一致，槽楔缺口对准通风槽；槽绝缘伸出槽口长度要均等，不得露出铁心表面。

5）嵌线过程中所用绝缘漆和溶剂要妥善保管，严禁烟火。

6）包绝缘时要带口罩，严禁用苯和二甲苯稀释剂洗手。

7）重量超过20kg的工件要用起重工具吊运，不可用手搬。

九、修理实例

（一）电枢绕组鼻端匝间短路和烧熔的处理实例

一台350kW牵引直流电机发生电枢绕组短路放炮事故，经检查发现：

1）换向器有放电痕迹；

2）定子穿入转子时有机械碰伤；

3）补偿极绕组端部压损变形，有5mm左右；

4）电枢绕组鼻端匝间短路、烧损。

1. 一般处理

1）吹风干燥处理，绝缘电阻上升合格。

2）清理换向器，打磨放电痕迹，试验合格。

3）校正机械变形和修理碰伤部位。

2. 鼻端匝间短路处理

1）将转子放在转子支架上。

2）首先打开无纬带，沿线圈端部的斜度，顺斜度用扁铲刀或手锯切开无纬带一个切口，然后可以整张撕开无纬带绑箍。

用扁铲刀的方法是将扁铲刀（厚2～3mm、宽25mm左右）顺导线上层与无纬带底层的缝隙中，将无纬带箍掀起一定缝隙，这样便于用手锯锯开无纬带。

3）将烧熔的鼻端平放。剥开匝间烧焦的鼻端外包绝缘，用改锥或扁铲刀将铜排匝间撬开缝3～5mm，使匝间分离。

4）清除旧绝缘，要清理干净，使露出裸铜（导线尺寸1.45mm×8.5mm，每线圈7匝）。用砂布打磨干净，检查铜排烧损情形。对于烧损面积较大的部分，用相同规格的铜排补焊；对于烧损面积较小的部分，采用银铜焊补焊方法。

图1-100是烧损情形。

5）将被焊的铜排放平，铜排下面垫上薄铁板2～3mm，然后接入大电流发生器（图1-100）。电流达1000～2000A，用银铜焊条补焊。

6）补焊时，像电焊一样，用银铜焊条在缺损部

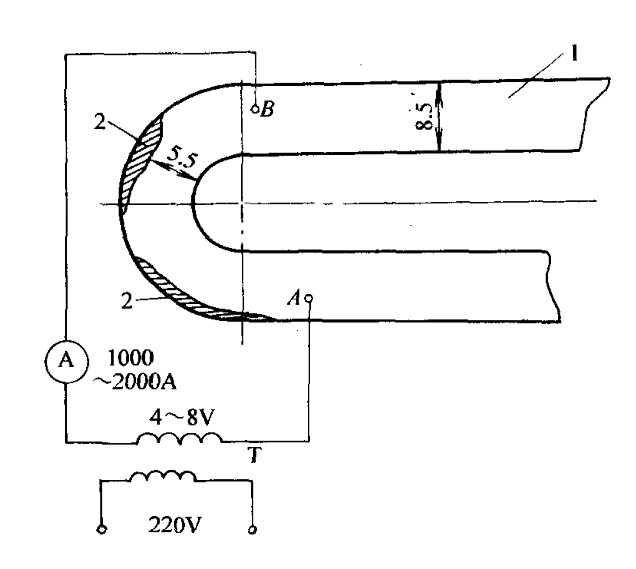


图1-100　铜排烧损情形
T—大电流发生器
1—导线　2—烧损区

位补上焊肉（不用加铜板）。

补后实测，厚度从1.45mm增到2mm，截面积略有增大。

7）补焊后，打磨平整，垫入绝缘垫片，使各匝绝缘良好。外包总绝缘，准备做试验。

8）半成品试验。换向器做对地和片间耐压试验。

9）绑扎无纬带。

10）浸漆、烘干处理。

11）出厂试验。

修后运转正常。

（二）电枢绕组“放炮”故障的修理实例

1. 故障经过及原因分析

某初轧厂4930kW直流电机突然发生故障，立刻停机检查，转子对地绝缘电阻为0.75μΩ，电枢外绑扎钢线对地，换向器端电枢线圈与并头套间断7根，并头套被电弧烧伤总长1/3左右，绑扎钢线烧穿一孔，如图1-101所示。

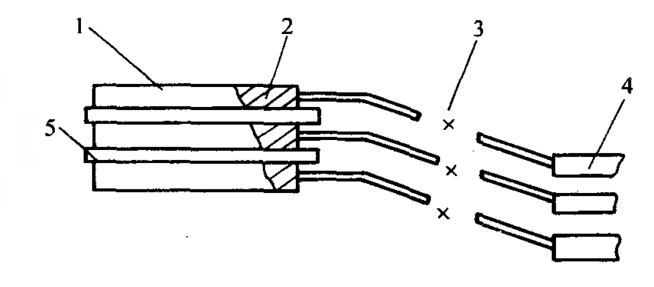


图1-101　并头套和引线烧毁情况
1—并头套　2—烧毁范围　3—烧断处
4—线圈端绝缘　5—隔板

通过检查和试验证实，故障是因电枢线圈端头堆积的碳粉使线圈端头与并头套间短路，造成击穿。如

图 1-102、图 1-103 所示。

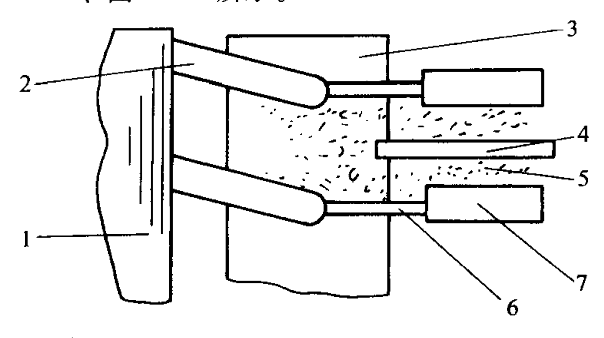


图 1-102　并头套堆积碳粉情况

1—铁心　2—线圈端绝缘　3—绝缘纸板

4—隔板　5—碳粉　6—导线　7—并头套

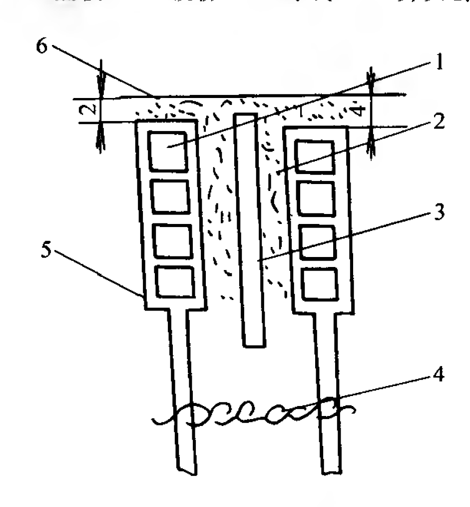


图 1-103　并头套高低不平

1—导线　2—粉尘　3—隔板　4—绑扎

5—并头套　6—绝缘纸板

从图 1-102 看出，电枢线圈端部与并头套连接间是裸铜线，虽然外面有绝缘包扎但未能包扎到并头套的根部，仍有裸铜露在外部，同时包扎长度也不一致，长短不一，使积累在两并头套间的碳粉在离心力作用下，逐渐压实，形成良好的导体，使相邻两裸铜导线短接，造成匝间短路“放炮”，并造成外包钢线烧断，对地击穿。另外，包扎并头套绝缘时，受层间绝缘垫长度影响，不能包到根底，使导线裸铜不能全部被 绝缘上，也是造成爬电的原因。再有，从图 1-103 看出，并头套高低不平，使钢线下面的绝缘垫与并头套上顶之间有间隙，使粉尘积存下来。

2. 修理方案确定及施工准备

1）采取在现场绑扎钢线办法，为此要制造传动装置，拖动电枢旋转。

2）烧断的铜线采用含银 15% 的料 304 型焊料焊接。接长的扁铜线切口在相邻处要错开 40mm 左右，并使切口为斜面。接头应在直线部位，焊后锉平。

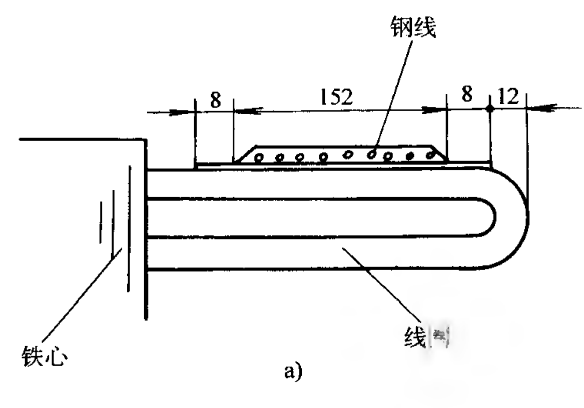
3）原钢线直径 ϕ2mm，原绑扎的匝数见表 1-56。

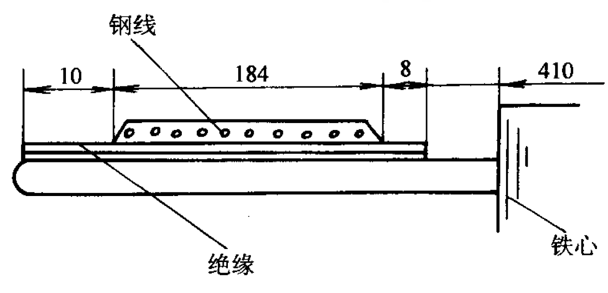
表 1-56　原绑扎钢线的匝数和拉力分配

层　数	前端匝数	后端匝数	钢线拉力/kg
第一层	91	75	220
第二层	90	74	205
第三层	89	73	190

钢线层间垫 0.2mm 厚的石棉纸一张。线圈与换向器的焊接原是采用苏联 ПОС50 型焊料；钢线端箍的焊接，原来是苏联 ПОС40 型焊料，以上两种材料均改为国产锡焊料。

原钢线绑扎情况如图 1-104 所示。





b)

图 1-104　原钢线绑扎情况

a）后端　b）前端

4）对原无磁钢线化验，化验结果如下：

含 C，0.2%；Mn，6.9%；Ni，11.9%；Cr11.6%，余是铁。现场现有进口的无磁钢线，ϕ2.5mm，以此代用，则钢线匝数计算如下：

$$N_2 = N_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} = 270 \times \frac{2^2}{2.5^2}\text{匝} = 171.4\ \text{匝}$$

取整数 171 匝，只扎两层即可。

3. 修理要点

（1）传动装置　如图 1-105 所示。

直流串励电动机数据：ZZ-51 型，25kW，220V，132A，570r/min，FS = 25%，串励，编号 047-1，温升 90℃。

串励电动机通过减速箱减速，减速箱是 1∶30 的，齿数比为 27∶62，通过假轴与电枢连接。电枢周围放

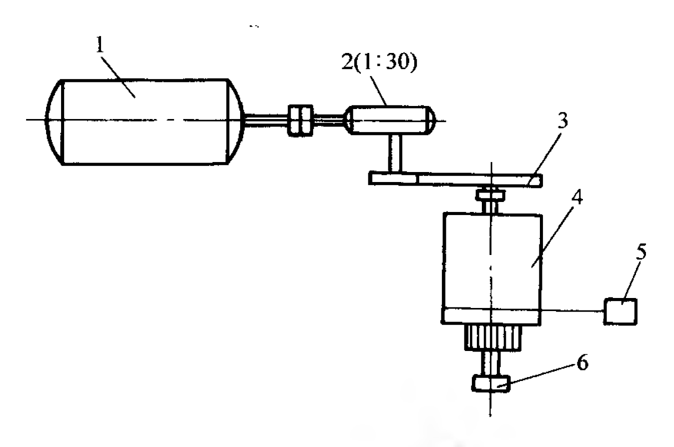


图 1-105　传动装置
1—串励直流电动机　2—减速箱　3—齿轮
4—电枢　5—扎钢线机　6—支架

木板台，操作人员站在木板台上操作。扎钢线机放在操作人员后边，与电枢轴线垂直。

（2）扎钢线机和试验拉力方法　如图 1-106 所示。

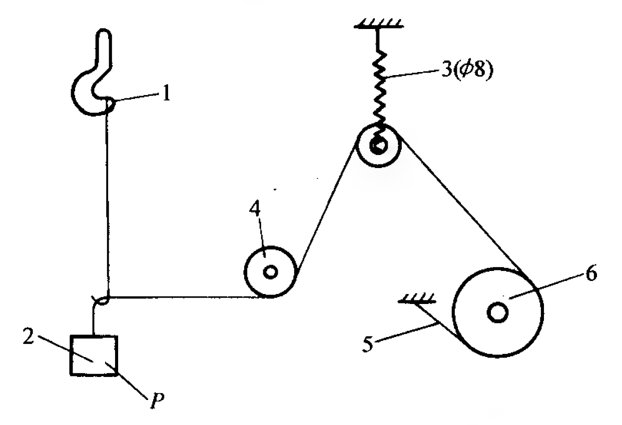


图 1-106　扎钢线机和试验拉力方法
1—起重机吊钩　2—重物　3—弹簧
4—固定轮　5—皮带　6—动轮

图 1-106 中弹簧是采用 $\phi8$ 的弹簧钢制作的，上面固定一指针，可表示出弹簧受力后的拉伸长度，长度大小即是受力大小，相当于手提式弹簧秤。钢线经过线轮、“弹簧秤”下边的动轮、固定轮和起重机下边的吊环与重物 P 连接在一起。动轮是用紧带拉紧的，调节紧带松紧程度可调节动轮的摩擦力大小。当 $P=200\text{kg}$ 时，则弹簧上受力 $F=2P\cos\alpha=400\cos\alpha$（kg），可见调节紧带的摩擦力和夹角 α 大小有关，所以可以改变钢线的拉力大小。

首先将电枢绕组端头断开部位焊好，用原规格扁铜线连接、施焊，打磨平滑。然后准备绑扎钢线。做好绑扎前的准备工作。

绑扎钢线前，要检查传动机构，试旋转，发现问题及时处理，然后检查扎钢线机，调整好拉力刻度。另外还要准备好支架、假轴、木板台、钢架等。最后检查所需材料是否齐全、质量是否合格。以上检查工作做完后，要准备以下工具和材料；烙铁 4 把、氧乙炔设备、扁铜线、钢线、云母纸、石棉纸、棉绳、1321 号灰瓷漆、185 号绝缘漆、洗油、酒精、松香、电工刀等。

绑扎钢线时注意事项：

1）钢线擦净；

2）扣片事先搪锡；

3）保证一定拉力（见表 1-56）；

4）沿电机旋转方向扎钢线；

5）焊锡厚度要均匀、要薄；

6）保护好绕组和换向器，以防焊锡流入。

电机扎好钢线，检查和试验合格后要进行喷漆。喷漆前要包好换向器，防止云母沟进入漆，电枢绕组端部（包括通风孔）要用纸或布包扎好，并用白布带绑牢，防止漆进入不需喷漆的部位。

吊装电枢时，要求检查钢丝绳，并擦净钢丝绳油，防止油滴入换向器云母沟内，以防污油腐蚀云母板。放下电枢时，要找正，使其平稳。

此台电机经上述处理后，运行一直正常。

第十五节　直流电动机简易重绕计算

一、直流电动机改电压计算

（一）励磁绕组改电压计算

当工作需要改变直流机励磁电压时，可按下面简单公式计算。

1. 并励或他励绕组改压计算

（1）导线截面积

$$A'_{\text{fE}}=A_{\text{fE}}\frac{U}{U'}\ (\text{mm}^2)$$

式中　A_{fE}、A'_{fE}——重绕前、后的励磁绕组导线截面积 mm^2；

U、U'——重绕前、后励磁绕组的额定电压，V。

（2）励磁绕组每极匝数

$$N'_{\text{fE}}=N_{\text{fE}}\frac{U'}{U}$$

式中　N_{fE}、N'_{fE}——重绕前、后的励磁绕组的每极匝数。

（3）励磁绕组用铜重量（kg）

$$G'_{\text{fE}}=k2pl_{\text{fE}}N'_{\text{fE}}A'_{\text{fE}}\times 8.9\times 10^{-5}$$

式中　G'_{fE}——励磁绕组铜重，kg；

l_{fE}——励磁绕组平均匝长，mm；

$2p$——电机的极数；

k——考虑绝缘铜线的绝缘层增加的重量系数。漆包线，$k=1.03\sim1.04$；双玻璃丝包铜线，$k=1.05\sim1.08$。

2. 串励绕组的计算

（1）每极匝数

$$N'_{fD}=N_{fD}\frac{U'}{U}\frac{a'}{a}=N_{fD}\frac{A}{A'}\frac{a'}{a}\ （匝）$$

式中　N_{fD}——串励绕组原有的每极匝数；

a、a'——串励绕组改变电压前、后的并联支路数。

（2）串励绕组截面积

$$A'_D=A_D\frac{a'}{a}\frac{N_{fD}}{N'_{fD}}$$

式中　A_D、A'_D——串励绕组改变电压前、后导线截面积，mm²。

3. 换向极绕组的计算

（1）换向极绕组匝数

$$N'_B=N_B\frac{U}{U'}\frac{a'_B}{a_B}\ （匝）$$

式中　N_B、N'_B——换向极绕组改变电压前、后的每极匝数；

a_B、a'_B——换向极绕组改变电压前、后的并联支路。

（2）换向极绕组截面积

$$A'_B=A_B\frac{U}{U'}=A_B\frac{N_B}{N'_B}\frac{a'_B}{a_B}$$

（二）电枢绕组改电压计算

1. 电枢绕组有效导线数计算

$$N'=N\frac{U'}{U}\ （根）$$

式中　N、N'——改电压前、后的有效导线数。

2. 每槽导线数

$$N'_S=\frac{N'}{Q_2}$$

3. 每槽绕组元件数

$$u=\frac{K}{Q_2}$$

式中　Q_2——电枢槽数；

K——换向片数。

4. 每元件匝数

$$N'_a=\frac{N'_s}{2u}$$

5. 导线截面积

$$A'_a=A_a\frac{U}{U'}\ (\text{mm}^2)$$

式中　A_a、A'_a——电枢绕组线压前、后的导线截面积，mm²。

例：一台 Z3-72 型直流电动机，额定功率 13kW，额定电压 110V，额定电流 142.5A，额定转速 1000r/min，并励，拟改为 220V 使用。

已知电枢绕组每元件 1 匝，总电枢导线数 $N=210$，并联支路数 $a=2$，导线 2-1.35mm×4.4mm，4 极，换向片数 $K=105$ 片，$Q_2=35$。

主极绕组每极匝数 815 匝，导线 ϕ1.25mm。换向极绕组每极匝数 16 匝，导线 2.1mm×12.5mm。

1. 电枢绕组改压计算

（1）有效导线数

$$N'=N\frac{U'}{U}=210\times\frac{220}{110}根=420\ 根$$

（2）每槽导线数

$$N'_S=\frac{N'}{Q_2}=\frac{420}{35}根=12\ 根$$

（3）每槽绕组元件数

$$u=\frac{K}{Q_2}=\frac{105}{35}=3$$

（4）每元件匝数

$$N_a=\frac{N'_S}{2u}=\frac{12}{2\times3}匝=2\ 匝$$

（5）导线截面积

$$A'_a=A_a\frac{U}{U'}=2\times1.35\times4.4\times\frac{110}{220}\text{mm}^2=1.35\times4.4\text{mm}^2$$

将原来二根并绕导线改为单根绕即可。

2. 主极绕组计算

（1）导线截面积

$$A'_{fE}=A_{fE}\frac{U}{U'}=\frac{\pi d^2}{4}\times\frac{220}{110}\text{mm}^2=\frac{\pi\times1.25^2}{4}\times\frac{220}{110}\text{mm}^2=1.23\times2=2.46\text{mm}^2$$

可采用两根 ϕ1.25mm 导线并绕，或按 2.46mm² 选其它电磁线绕制。

（2）励磁绕组每极匝数

$$N'_{fE}=N_{fE}\frac{U'}{U}=815\times\frac{220}{110}匝/极=1630\ 匝/极。$$

3. 换向极绕组计算

（1）换向极绕组匝数

$$N'_B=N_B\frac{Ua'_B}{Ua_B}=16\times\frac{220}{110}\times\frac{1}{1}匝/极=32\ 匝/极。$$

令 $a'=a=1$ 不变。

（2）换向极绕组截面积

$$A'_B = A_B \frac{U}{U'} = 2.1 \times 12.5 \times \frac{110}{220} \text{mm}^2 = 13.1 \text{mm}^2$$

按 13.1mm² 选择合适的导线，或者选取 2.1mm ×6.3mm 导线。

二、直流电动机绕组重绕计算

（一）换向极绕组重绕计算

如果不知道原有的换向极绕组数据，可按下式估算出：

$$N_B = k_B \frac{N_S a_B}{8 a_a p}$$

式中 k_B——系数。2极电动机用1个换向极时k取1.2～1.3；4极电动机用4个换向极时，k取1.15～1.25；

a_a——电枢并联支路对数；

a_B——换向极绕组并联支路数；

p——电机的极对数；

N_S——电枢绕组总导线数。

（二）电枢绕组重绕计算

1. 电动机的计算功率（W）

$$P_S = \frac{0.65 D_a^2 l_a n B_\delta A}{6.1 \times 10^4} = 0.11 D_a^2 L_a n B_\delta A \times 10^{-4}$$

2. 电动机输出功率（W）

$$P_N = (0.11 \sim 0.097)\ P_s$$

式中 D_a——电枢直径，cm；

l_a——电枢铁心长度，cm；

n——电机转速，r/min；

B_δ——气隙磁密，T；对于 $D_a = 10 \sim 40$cm，取0.64～1.0T；对于连续工作制电机，取0.28～0.34T；对于短时工作制的电机，取0.35～0.955T。

A——电枢线负载，取60～400A/cm。

3. 电枢电流（A）

$$I = \frac{P_N}{k_e N_N} = \frac{P_N}{E_2}$$

式中 k_e——压降系数，取0.85～0.95，功率大者取大值。

4. 电枢绕组总有效导线数（根）

$$N = \frac{60 a E_2}{p n \Phi}$$

式中 p——电机极对数；

n——额定转速，r/min^{-1}；

a——电枢绕组并联支路对数。单叠绕组 $a = p$；复合绕组 $a = mp$；单波绕组，$a = 1$；复波绕组，$a = m$；

m——绕组重复数。

5. 每极有效磁通（Wb）

$$\Phi = \alpha \tau L_1 B_\delta$$

式中 α——极弧系数，一般取0.65；

τ——极距；

L_1——定子主磁极铁心长度，cm。

6. 每槽有效导线数（根/槽）

$$N_S = \frac{N}{Q_2}$$

7. 每线圈匝数

$$N_a = \frac{N}{2K}$$

8. 线负载（A/cm）

$$A = \frac{NI}{6.28 D_a a}$$

9. 支路中电流（A）

$$i = \frac{I}{2a}$$

10. 电枢绕组导体截面积

$$A_a = \frac{i}{J}$$

式中 J——电流密度，A/mm²，一般 J 取4.5～7.5A/mm²。

11. 槽满率校核

$$sf = \frac{n_\tau N_s d_0^2}{A_{e2}}$$

式中 sf——槽满率，一般在0.65～0.80之间；

A_{e2}——电枢槽有效截面积，mm²；

n_τ——导线并绕根数；

N_s——每槽有效导线数；

d_0——导线直径，mm。

12. 总磁通校验（Wb）

$$\phi = \frac{60 E_a a}{p N_1 n}$$

13. 气隙磁通密度（T）

$$B_\delta = \frac{\phi}{\alpha \tau L_2}$$

14. 电枢齿磁通密度

$$B_t = \frac{B_\delta t_2}{0.93 b_t}$$

式中 τ——极距，cm；

t_2——齿距，cm；

b_τ——齿厚，cm；

B_τ 应控制在1.3～1.5T范围内，不可过大。

（三）励磁绕组重绕计算

已知励磁电压 U_f 和励磁电流 I_f 时，按下列公式进行重绕计算。

1. 绕组电阻值（Ω）

$$R_f=\frac{U_f}{k_f I_f}$$

式中　k_f——励磁裕量，B 级绝缘取 1.25；F 级绝缘取 1.42。

2. 导线截面积（mm^2）

$$A_f=\frac{I_f}{J_f}$$

式中　J_f——励磁绕组电流密度，一般取 2～3A/mm^2。

3. 线圈平均匝长（cm）

$$l_f=2\ (b_m+l_m+\pi b_f+2)$$

式中　b_m——主极铁心宽度，cm；

l_m——主极铁心长度，cm；

b_f——主极线圈宽度，cm。

4. 线圈匝数（匝）

$$N_f=\frac{4600A_f a_f R_f}{2pl_f}$$

例：一台 Z3-92 型，1.25kW 直流电动机，已知励磁电压 U_f 为 220V，励磁电流 I_f 为 4.35A，4 极，有铁心，无线圈，需配制线圈。

1. 绕组电阻值（Ω）

$$R_f=\frac{U_f}{k_f I_f}=\frac{220}{1.25\times4.35}\Omega=40.46$$

k_f 取 1.25，因按 B 级绝缘等级考虑。

2. 导线截面积（mm^2）

$$A_f=\frac{I_f}{J_f}=\frac{4.35}{3}mm^2=1.45$$

J_f 取 3A/mm^2。

3. 线圈平均匝长

l_f 按铁心实物外形尺寸量测得到线圈平均匝长为 79.4cm。

4. 线圈匝数（匝）

$$N_f=\frac{4600A_f a_f R_f}{2pl_f}=\frac{4600\times1.45\times1\times40.46}{4\times79.4}\text{匝}=849.7$$

取 850 匝。

三、导线代用及实例

在修理过程中，有时碰到直流电机所用的扁导线一时购买不到，尤其特殊规格导线，为使生产不停工待料往往采用圆导线代替原有的扁导线进行重绕修理工作。这时要考虑以下问题：

1）导线直径能否嵌入升高片槽口内；

2）导线能否嵌入槽口内；

3）槽满率是否允许等。

实例 1：一台直流电动机，型号 ZQ-7，6.5kW，250V，31A，1190r/min，导线规格是 2.77mm × 1.18mm，3 根并绕，拟改用圆铜线代替。

圆铜线线径 $d=\sqrt{\frac{2.77\times1.18\times4}{\pi}}mm=2.04mm$

选用 ϕ2.0mm 圆铜导线代用。

原绕组导线截面积 $2.77\times1.18mm^2=3.27mm^2$

现绕组导线截面积为 $\frac{\pi\times2^2}{4}mm^2=3.14mm^2$

截面积误差 $\frac{3.27-3.14}{3.27}\times100\%=3.98\%$

采用 ϕ2mm 导线，嵌线很困难，因为粗铜线弹力大，勉强嵌入。也曾用 2-ϕ1.45mm 代替，但由于槽满率太大，槽内容纳不下，因此只好采用 ϕ2mm 导线，一边嵌线一边压紧槽内导线，总算嵌入槽内。

在嵌线圈时，可用手掀线圈鼻端形状，但每个线圈端部要包尖（即包扎绝缘）。

实例 2：一台直流牵引电动机 D15 型，电枢导线为扁铜线 1mm × 2.1mm，5 根并绕，因无此种规格电磁线，拟采用 F 级圆铜漆包线代用，如何计算和施工？

原导线截面积为 $1mm\times2.1mm=2.1mm^2$，改用 ϕ1.68mm 圆铜导线的截面积为 $2.21mm^2$ 相接近。

电枢铁心是开口槽，所以嵌线不存在问题，但圆导线比原来的扁导线宽 0.68mm，所以与升高片槽配合的部分要打扁，否则无法嵌入升高片槽内。

打扁槽制作方法：

找一块钢料，厚度 40～50mm，宽 60mm 左右，长 100mm 左右，上下表面刨平，中间做出压扁圆导线的槽，如图 1-107 所示。

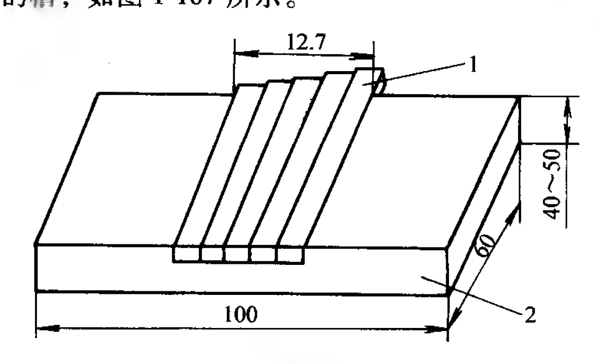


图 1-107　圆导线压扁模

1—压扁后的导线　2—压模

导线压扁槽可用手工锯锯出两个边界线，宽度经计算为 12.7mm，深度为 1mm，然后用扁铲铲出平面，深 0.8～0.9mm，最后用锉锉平，使深度达 1mm（如果有刨床刨出更方便）。

使用时，将 5 根圆导线放在槽内排列好，上面用一厚铁板盖上，用大锤敲铁板，可将圆导线轧平，高度为 1mm，宽度为 2.543mm。

槽宽 12.7mm 是这样考虑和确定的：

ϕ1.68mm 高强漆包铜导线的绝缘直径实测为 ϕ1.8mm，带绝缘的 ϕ1.8mm 截面积为 $2.543mm^2$，5 根同时压扁，所以槽宽为 $5\times2.543=12.7$mm。

从上述代用料实例看出，在考虑代用料时主要考虑以下因素：

1）槽满率问题。多根代少根导线时，由于每根导线绝缘层的原因，使槽满率增大；少根代多根导线时，要考虑槽口宽度能否允许导线嵌入槽内，另外由于导线线径加粗，还要考虑工艺性问题，直径大于 1.81mm 时，一般不推荐采用。

2）圆导线代扁导线时要考虑散热、机械强度以及槽满率问题。圆导线代替直流电机电枢的扁导线时，更要考虑槽满率问题，同时还要考虑槽口宽度和导线与升高片焊接问题，虽然将圆导线压扁可以嵌入升高片内，但要注意冷加工后的脆化、断头问题，同时工艺非常复杂，代用的可能性也非常小。

附　　录

附表 1-1　Z2 系列直流电动机主要技术数据

机座号(序号)			Z2-11 1　2	3　4	Z2-12 1　2	3　4	Z2-21 1　2	Z2-21 3　4
功率/kW			0.8	0.4	1.1	0.6	1.5	0.8
电压/V			110　220	110　220	110　220	110　220	110　220	110　220
电流/A			9.96　4.85	5.35　2.68	12.9　6.41	7.68　3.82	17.5　8.64	9.84　4.92
额定转速/(r/min)			3000	1500	3000	1500	3000	1500
励　磁　方　式			并	并	并	并	并	并
电枢	外径	mm	83	83	83	83	106	106
	内径	mm	22	22	22	22	30	30
	长度	mm	65　90	65　90	65　90	65　90	65	65
	槽　数		14	14	14	14	14	14
	槽　形		梨	梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		6　12	11　22	$4\frac{2}{4}$　9	8　16	$3\frac{2}{4}$　7	$6\frac{1}{4}$　$12\frac{2}{4}$
	总　匝　数		672　1344	1232　2464	504　1008	896　1792	504　1008	900　1800
	支路数		2	2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		0.96/ 0.69/ 1.05　0.77	0.74/ 0.53/ 0.83　0.60	1.16/ 0.80/ 1.27　0.89	0.90/ 0.62/ 0.99　0.69	1.35/ 1.0/ 1.46　1.1	1.08/ 0.74/ 1.19　0.83
	槽　节　距		1 ~ 5	1 ~ 5	1 ~ 5	1 ~ 5	1 ~ 0	1 ~ 0
换向器	外径	mm	62	62	62	62	82	82
	长度	mm	42	42	42	42	45　45	45　45
	换　向　片　数		56	56	56	56	72	72
	换向器节距		1 ~ 33	1 ~ 33	1 ~ 33	1 ~ 33	±1	±1
	每杆电刷数		2	2	2	2	2　2	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10 × 12.5	10 × 12.5	10 × 12.5	10 × 12.5	10 × 12.5	10 × 12.5
主极	极　　数		2	2	2	2	2	2
	极身宽度/mm		38	38	38	38	48	48
	极长/mm		65　90	65　90	65　90	65　90	65	65
	气隙/mm		0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
	每极匝数	串	12　24	36　72	10　20	20　34	8　16	18　40
		并	1650　3450	2040　3800	1350　2750	1600　3140	1800　3700	1940　3700
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同					
		并	0.38/ 0.27/ 0.44　0.32	0.35/ 0.27/ 0.41　0.32	0.41/ 0.29/ 0.47　0.34	0.44/ 0.31/ 0.50　0.36	0.41/　0.31/ 0.47　0.36	0.47/ 0.33/ 0.53　0.38
	并励绕组额定 励磁电流/A		0.469　0.234	0.347　0.1825	0.565　0.28	0.535　0.28	0.55　0.278	0.582　0.3085
换向极	极　　数		1	1	1	1	1	1
	极身长度/mm		50　75	50　75	50　75	50　75	50	50
	极　宽/mm		20	20	20	20	20	20
	气　　隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每　极　匝　数		127　258	240　480	93　192	172　345	98　196	176　352
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.16 × 2.44/ 1.47 × 2.75 1.25/1.36	1.35/ 0.96/ 1.46　1.05	1.25 × 3.05/ 1.57 × 3.37 1.45/1.56	1.56/ 1.08/ 1.68　1.19	1.25 × 4.11/ 1.57 × 4.42 1.16 × 2.44/ 1.47 × 2.75	1.0 × 3.05/ 1.32 × 3.37 1.35/1.46
绕组用铜重	电　　枢/kg		0.78　0.807	0.849　0.875	0.971　0.925	1.04　0.988	1.36　1.485	1.55　1.455
	并　　励/kg		0.978　1.055	1.045　1.201	1.074　1.11	1.57　1.53	1.24　1.516	1.90　1.757

（续）

	机座号（序号）		5　6	7　8	9　10	11　12	Z2-22 1　2
	功率/kW		0.4	1.1	1.1	0.6	2.2
	电压/V		110　220	115　230	110/160　220/320	110/160　220/320	110　220
	电流/A		5.57　2.755	9.57　4.78	8.15　4.07	2.22　4.44	24.7　12.35
	额定转速/（r/min）		1000	2850	2850	1450	3000
	励　磁　方　式		并	复	并	并	并
电枢	外径	mm	106	106	106	106	106
	内径	mm	30	30	30	30	30
	长度	mm	65	65	65	65	90
	槽　数		18	18	18	18	18
	槽　形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		9　18	$4\frac{3}{4}$　$9\frac{2}{4}$	6　12	12　24	$2\frac{2}{4}$　5
	总　匝　数		1296　2592	684　1368	864　1728	1728　3456	360　720
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		0.86/0.62/ 0.95　0.69	1.08/0.74/ 1.19　0.83	2－0.74/0.74/ 2－0.83　0.83	0.74/0.53/ 0.83　0.60	2－1.16/2－1.27/ 1.16　1.27
	槽　节　距		1～10	1～10	1～10	1～10	1～10
换向器	外径	mm	82	82	82	82	82
	长度	mm	45　45	45　45	45　45	45　45	45　45
	换　向　片　数		72	72	72	72	72
	换向器节距		±1	±1	±1	±1	±1
	每杆电刷数		2　2	2　2	2　2	2　2	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极　数		2	2	2	2	2
	极身宽度/mm		48	48	48	48	48
	极长/mm		65	65	65	65	90
	气隙/mm		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	每极匝数	串	32　64	38　72			8　20
	每极匝数	并	2050　3850	1820　3200	2500　4500	2450　4750	1500　3000
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.44/0.33/ 0.50　0.38	0.38/0.27/ 0.44　0.32	0.41/0.29/ 0.47　0.34	0.51/0.35/ 0.58　0.41	0.47/0.33/ 0.53　0.39
	并励绕组额定励磁电流/A		0.528　0.304	0.385　0.217	0.344/0.1847/ 0.515　0.2765	0.411/0.232/ 0.713　0.36	0.70　0.3485
换向极	极　数		1	1	1	1	1
	极身长度/mm		50	50	50	50	75
	极　宽/mm		20	20	20	20	20
	气　隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每　极　匝　数		256　305	132　264	166　332	332　665	64　128
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.35/1.46 1.0/1.1	1.0×3.05/ 1.32×3.37 1.35/1.46	1.08×2.44/ 1.39×2.75 125/136	1.25/1.36 0.93/1.02	1.35×4.71/ 1.69×5.04 1.08×3.28/ 1.40×3.6
绕组用铜重	电　枢/kg		1.42　1.47	1.18　1.104	1.40　1.40	1.40　1.435	1.6　1.6
	并　励/kg		1.71　1.87	1.09　0.973	1.738　1.55	2.90　2.63	1.655　1.62

（续）

机座号(序号)			3　4	5　6	7　8	9　10	11　12
功率/kW			1.1	0.6	1.7	0.8	1.5
电压/V			110　220	110　220	115　230	115　230	110/160　220/320
电流/A			13　6.5	7.68　3.79	14.8　7.39	6.95　3.48	11.1　5.56
额定转速/(r/min)			1500	1000	2850	1450	2850
励磁方式			并	并	复	复	并
电枢	外径	mm	106	106	106	106	106
	内径		30	30	30	30	30
	长度		90	90	90	90	90
	槽数		18	18	18	18	18
	槽形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$4\frac{2}{4}$　9	$6\frac{3}{4}$　$13\frac{2}{4}$	$3\frac{2}{4}$　$6\frac{3}{4}$	$7\frac{1}{4}$　$14\frac{2}{4}$	$4\frac{1}{4}$　$8\frac{2}{4}$
	总匝数		948　1296	972　1944	504　972	1044　2088	612　1224
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		1.20/0.86/ 1.31　0.96	0.96/0.69/ 1.05　0.77	2-0.96/2-1.05 0.96/1.65	0.96/1.05 0.69/0.77	1.16/1.27 0.86/0.95
	槽节距		1~10	1~10	1~10	1~10	1~10
换向器	外径	mm	82	82	82	82	82
	长度		45　45	45　45	45　45	45　45	45　45
	换向片数		72	72	72	72	72
	换向器节距		±1	±1	±1	±1	±1
	每杆电刷数		2　2	2　2	2　2	2　2	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		2	2	2	2	2
	极身宽度/mm		48	48	48	48	48
	极长/mm		90	90	90	90	90
	气隙/mm		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	每极匝数	串	14　24	20　40	22　42	95　125	
		并	1600　3000	1840　3600	1400　2900	1600　3000	2050　4050
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	0.53/1.60 0.41/0.47	0.49/0.55 1.35/0.41	0.41/0.47 0.29/0.34	0.47/0.53 0.31/0.36	0.47/0.53 0.31/0.36
	并励绕组额定励磁电流/A		0.8　0.458	0.58　0.314	0.503　0.268	0.439/0.673 0.22/0.322	0.439/0.673 0.22/0.322
换向极	极数		1	1	1	1	1
	极身长度/mm		75	75	75	75	75
	极宽/mm		20	20	20	20	20
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数		116　230	174　348	90　174	108　220	108　220
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.16×3.28/ 1.48×3.6 1.45/1.56	1.0×2.44/ 1.31×2.75 1.16/1.27	1.35×3.28/ 1.67×3.6 1.0×2.44/ 1.31×2.75	1.0×3.28/ 1.32×3.6 1.45/1.56	1.0×3.28/ 1.32×3.6 1.45/1.56
绕组用铜重	电枢/kg		1.541　1.581	1.48　1.53	1.53　1.48	1.36　1.50	1.36　1.50
	并励/kg		2.34　2.64	2.255　2.275	1.29　1.182	2.205　1.87	2.205　1.87

（续）

机座号(序号)			13　14	Z2-22 15	Z2-31 1　2	3　4	5　6
功率/kW			0.8	0.8	3	1.5	0.8
电压/V			110/160　220/320	230	110　220	110　220	110　220
电流/A			4.92　2.96	3.48	33.2　16.52	17.6　8.7	10　4.95
额定转速/(r/min)			1450	1450	3000	1500	1000
励磁方式			并	他	并	并	并
电枢	外径	mm	106	106	120	120	120
	内径		30	30	30	30	30
	长度		90	90	75	75	75
	槽数		18	18	18	18	18
	槽形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		9　18	$14\frac{2}{4}$	$2\frac{2}{4}$　5	$4\frac{2}{4}$　$9\frac{1}{4}$	$6\frac{3}{4}$　$13\frac{3}{4}$
	总匝数		1296　2592	2088	360　720	648　1336	972　1980
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ线规 ϕ/mm		0.86/0.95 0.62/0.69	0.69/0.77	2－1.35/2－1.46 1.35/1.46	2－1.0/2－1.1 1.0/1.1	1.16/1.26 0.83/0.92
	槽节距		1～10	1～10	1～10	1～10	1～10
换向器	外径	mm	82	82	82	82	82
	长度		45　45	45　45	45　45	45　45	45　45
	换向片数		72	72	72	72	72
	换向器节距		±1	±1	±1	±1	±1
	每杆电刷数		2　2	2　2	2　2	2　2	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		2	2	2	2	2
	极身宽度/mm		48	48	58	58	58
	极长/mm		90	90	75	75	75
	气隙/mm		0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	每极匝数	串			11　22	12　30	16　36
		并	2150　4800		1560　3120	1550　3160	1650　3160
	QZ线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	0.47/0.53 0.31/0.36	0.33/0.38	0.49/0.55 0.35/0.41	0.57/0.64 0.38/0.44	0.33/0.60 0.38/0.44
	并励绕组额定励磁电流/A		0.442/0.407 0.1917/0.2665	0.308	0.721 0.12/0.376	0.93/0.376 0.424	0.794　0.397
换向极	极数		1	1	1	1	1
	极身长度/mm		75	75	75	55	55
	极宽/mm		20	20	25	25	25
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数		230　460	370	67　130	120　240	67　130
	QZ或SBECB线规 ϕ/mm		1.56/1.67 1.08/1.19	1.20/1.31	1.81×4.7/ 2.16×5.04 1.45×2.83/ 1.80×3.14	1.45×2.83/ 1.80×3.14 1.0×2.44/ 1.27×2.71	1.25×2.44/ 1.52×2.71 1.35/1.46
绕组用铜重	电枢/kg		1.58　1.648	1.64	2.22　2.22	2.26　2.19	2.215　2.31
	并励/kg		2.335　2.26	1.64	1.862　1.85	2.55　2.27	2.26　2.31

（续）

机座号(序号)			7　8	9　10	Z2-31 11　12	Z2-31 13　14	15　16
功率/kW			0.6	2.4	1.1	2.2	1.1
电压/V			110　220	115　230	115　230	11/160　220/320	110/160　220/320
电流/A			7.91　3.9	20.85　10.42	9.56　4.78	16.13　8.15	8.15　4.075
额定转速/(r/min)			750	2850	1450	2850	1450
励　磁　方　式			并	复	复	并	并
电枢	外径	mm	120	120	120	120	120
	内径	mm	30	30	30	30	30
	长度	mm	75	75	75	75	75
	槽　数		18	18	18	18	18
	槽　形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$8\frac{2}{4}$　$17\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{4}$　$6\frac{2}{4}$	$6\frac{3}{4}$　13	$4\frac{1}{4}$　$8\frac{2}{4}$	$8\frac{3}{4}$　17
	总　匝　数		1224　2484	468　936	972　1872	612　1224	1260　2448
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2 - 0.94/0.83 0.74/0.83	2 - 1.2/2 - 1.31 1.2/1.31	1.2/1.31 0.86/0.95	1.45/1.56 1.0/1.1	1.04/1.14 0.74/0.83
	槽　节　距		1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10
换向器	外径	mm	82	82	82	82	82
	长度	mm	45　45	45　45	45　45	45　45	45　45
	换　向　片　数		72	72	72	72	72
	换向器节距		±1	±1	±1	±1	±1
	每杆电刷数		2　2	2　2	2　2	2　2	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极　　数		2	2	2	2	2
	极身宽度/mm		58	58	58	58	58
	极长/mm		75	75	75	75	75
	气隙/mm		1.0	1.0	1	1	1
	每极匝数	串	20　40	24　40	64　118		
		并	1740　3520	1310　2940	1600　3100	2110　4050	2280　4200
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	0.55/0.62 0.38/0.44	0.47/0.54 0.33/0.39	0.44/0.50 0.33/0.38	0.49/0.55 0.35/0.41	0.49/0.55 0.38/0.44
	并励绕组额定励磁电流/A		0.81　0.386	0.716　0.334	0.54　0.308	0.519/0.73 0.269/0.379	0.52/0.71 0.294/0.428
换向极	极　　数		1	1	1	1	1
	极身长度/mm		55	55	55	55	55
	极　宽/mm		25	25	25	25	28
	气　　隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每　极　匝　数		220　445	84　168	175　336	110　220	227　445
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.08×2.44/ 1.35×2.71 1.20/1.31	1.16×4.7/ 1.43×4.97 1.25×2.44/ 1.52×2.71	1.25×2.44/ 1.52×2.71 1.35/1.46	1.16×4.7/ 1.43×4.97 1.08×2.44/ 1.35×2.71	1.08×2.44/ 1.35×2.71 1.20/1.31
绕组用铜重	电　　枢/kg		2.27　2.305	2.285　2.28	2.37　2.35	2.18　2.07	2.305　2.27
	并　　励/kg		2.68　2.565	1.392　1.577	1.331　1.662	2.41　2.39	2.64　3.02

（续）

机座号(序号)			17	Z2-32 1　2	3　4	Z2-32 5　6	7　8
功率/kW			1.1	4	2.2	1.1	0.8
电压/V			230	110　220	110　220	110　220	110　220
电流/A			4.78	43.8　21.65	26　12.35	13.33　6.58	10　4.95
额定转速/(r/min)			1450	3000	1500	1000	750
励　磁　方　式			他	并	并	并	并
电枢	外径	mm	120	120	120	120	120
	内径	mm	30	30	30	30	30
	长度	mm	75	105	105	105	105
	槽　数		18	18	18	18	18
	槽　形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		13	$1\frac{3}{4}$　$3\frac{2}{4}$	$3\frac{1}{4}$　$6\frac{3}{4}$	5　$9\frac{3}{4}$	$6\frac{2}{4}$　13
	总　匝　数		1872	252　504	468　972	720　1404	936　1872
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		0.86/0.95	2-1.56/2-1.67 1.56/1.67	2-1.20/2-1.31 1.20/1.31	2-0.96/2-1.05 0.96/1.05	2-0.86/0.95 0.86/0.95
	槽　节　距		1~10	1~10	1~10	1~10	1~10
换向器	外径	mm	82	82	82	82	82
	长度	mm	45　45	45　45	45　45	45　45	45　45
	换　向　片　数		72	72	72	72	72
	换向器节距		±1	±1	±1	±1	±1
	每杆电刷数		2　2	3　2	2　2	2　2	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极　数		2	2	2	2	2
	极身宽度/mm		58	58　58	58	58	58
	极长/mm		75	105	105	105	105
	气隙/mm		1	1	1	1	1
	每极匝数	串		12　26	10　24	14　27	20　40
	每极匝数	并	3480	1250　2540	1350　2940	1680　3360	1680　3640
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.38/0.44	0.51/0.58 0.35/0.4	0.64/0.72 0.41/0.47	0.57/0.64 0.44/0.50	0.57/0.64 0.41/0.47
	并励绕组额定励磁电流/A		0.408	0.885　0.427	3.385　0.414	0.75　0.448	0.747　0.368
换向极	极　数		1	1	1	1	1
	极身长度/mm		55	85	85	85	85
	极　宽/mm		28	25	25	25	25
	气　隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每　极　匝　数		336	46　91	84　174	130　252	168　336
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.35/1.46	2.44×4.7/ 2.79×5.13 1.16×4.7/ 1.43×4.97	1.45×4.7/ 1.72×4.97 1.07×3.28/ 1.40×3.60	1.08×3.28/ 1.40×3.60 1.56/1.67	1.08×3.28/ 1.40×3.60 1.56/1.67
绕组用铜重	电　枢/kg		2.35	2.33　2.33	2.565　2.66	2.53　2.46	2.64　2.64
	并　励/kg		2.425	1.83　1.75	3.4　2.95	3.3　4.04	3.3　3.8

(续)

机座号(序号)			9 10	11 12	13 14	15 16	17
功率/kW			3.2	1.7	3	1.5	1.7
电压/V			115 230	115 230	110/160 220/320	110/160 220/320	230
电流/A			27.8 13.9	14.8 7.4	22.2 11.1	11.1 5.55	7.4
额定转速/(r/min)			2850	1450	2850	1450	1450
励磁方式			复	复	并	并	他
电枢	外径	mm	120	120	120	120	120
	内径		30	30	30	30	30
	长度		105	105	105	105	105
	槽数		18	18	18	18	18
	槽形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$2\frac{1}{4}$ $4\frac{2}{4}$	$4\frac{3}{4}$ $9\frac{2}{4}$	3 6	6 12	$9\frac{2}{4}$
	总匝数		324 648	684 1368	4.32 864	864 1728	1368
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2-1.35/1.46 1.35/1.46	2-1.0/2-1.1 1.0/1.1	2-1.20/2-1.31 1.20/1.31	0.86/0.95 0.86/0.95	1.0/1.1
	槽节距		1~10	1~10	1~10	1~10	1~10
换向器	外径	mm	82	82	82	82	82
	长度		45 45	45 45	45 45	45 45	54
	换向片数		72	72	72	72	72
	换向器节距		±1	±1	±1	±1	±1
	每杆电刷数		2 2	2 2	2 2	2 2	2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		2	2	2	2	2
	极身宽度/mm		58	58	58	58	58
	极长/mm		105	105	105	105	105
	气隙/mm		1	1	1	1	1
	每极匝数	串	14 24	44 90			
		并	1050 2200	1130 2540	2000 3700	1900 3600	2830
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	0.55/0.62 0.38/0.44	0.49/0.55 0.35/0.41	0.38/0.44 0.53/0.50	0.57/0.64 0.41/0.47	0.41/0.47
	并励绕组额定励磁电流/A		1.08 0.521	0.811 0.353	0.297/0.438 0.56/0.810	0.647/0.955 0.331/0.489	5.505
换向极	极数		1	1	1	1	1
	极身长度/mm		85	85	85	85	85
	极宽/mm		25	25	25	25	25
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数		59 117	125 252	77 156	156 312	252
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.56×4.7/ 1.83×4.97 1.25×3.28/ 1.57×3.60	1.35×3.28/ 1.57×3.60 1.56/1.67	1.35×4.7/ 1.62×4.97 1.25×2.44/ 1.52×2.71	1.25×2.44/ 1.52×2.71 1.35/1.46	1.56/1.67
绕组用铜重	电枢/kg		2.24 2.24	2.6 2.6	2.37 2.37	2.44 2.435	2.6
	并励/kg		1.77 1.8	1.498 1.76	3.19 3.06	3.58 3.52	2.685

（续）

机座号(序号)			Z2-41 1 2	3 4	5 6	7 8	9 10
功率/kW			5.5	3	1.5	1.1	4.2
电压/V			110 220	110 220	110 220	110 220	115 230
电流/A			6.06 30.3	34 17	17.8 8.9	13.8 6.9	36.5 18.25
额定转速/(r/min)			3000	1500	1000	750	2850
励磁方式			并	并	并	并	复
电枢	外径	mm	138	138	138	138	138
	内径	mm	45	45	45	45	45
	长度	mm	85	85	85	85	85
	槽数		27	27	27	27	27
	槽形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$1\frac{2}{3}$ $3\frac{1}{3}$	3 6	$4\frac{1}{3}$ $8\frac{2}{3}$	$5\frac{2}{3}$ $11\frac{1}{3}$	2 $4\frac{1}{3}$
	总匝数		270 540	486 972	702 1404	918 1836	324 702
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2－1.56/2－1.82 1.56/1.82	2－1.25/2－1.49 1.25/1.49	1.45/1.69 1.0/1.24	1.25/1.49 0.86/1.1	2－1.35/2－1.59 1.45/1.69
	槽节距		1～8	1～8	1～8	1～8	1～8
换向器	外径	mm	100	100	100	100	100
	长度	mm	46 46	46 32	32 32	32 32	46 32
	换向片数		81	81	81	81	
	换向器节距		1～41	1～41	1～41	1～41	1～41
	每杆电刷数		2 2	2 1	2 1	2 1	2 1
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		4	4	4	4	4
	极身宽度/mm		42	42	42	42	42
	极长/mm		85	85	85	85	85
	气隙/mm		1	1	1	1	1
	每极匝数	串	4 7	5 12	4 7	6 10	7 12
		并	935 1800	1040 2790	1100 2120	1040 2120	780 1460
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	0.53/0.60 0.38/0.44	0.62/0.69 0.44/0.50	0.67/0.75 0.47/0.53	0.62/0.69 0.47/0.53	1.62/0.69 0.38/0.44
	并励绕组额定励磁电流/A		0.88 0.488	1.051 0.6074	1.114 0.591	1.1 0.555	1.215 0.51
换向极	极数		4	4	4	4	4
	极身长度/mm		65	65	65	65	65
	极宽/mm		20	20	20	20	20
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数		20 40	37 74	54 105	70 138	25 54
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2.44×6.4/ 2.84×6.8 1.45×4.7/ 1.79×5.04	1.95×4.7/ 2.29×5.04 1.0×4.7/ 1.34×5.04	1.16×4.7/ 1.50×5.14 1.16×2.44/ 1.47×2.75	1.0×4.7/ 1.34×5.04 1.0×2.44/ 1.31×2.75	1.95×4.7/ 2.29×5.04 1.16×4.7/ 1.50×5.04
绕组用铜重	电枢/kg		1.876 1.876	2.168 2.168	0.105 0.105	5.05 1.94	1.69 2.105
	并励/kg		2.265 2.238	3.60 3.19	4.61 1.812	3.60 4.36	2.615 1.812

（续）

部件	项目		11　12	13　14	15　16	17
机座号(序号)			11　12	13　14	15　16	17
功率/kW			2.4	4	2.2	2.4
电压/V			115　230	110/160　220/320	110/160　220/320	230
电流/A			20.9　10.45	29.6　14.8	16.3　8.15	10.54
额定转速/(r/min)			1450	2850	1450	1450
励磁方式			复	并	并	他
电枢	外径	mm	138	138	138	138
	内径	mm	45	45	45	45
	长度	mm	85	85	85	85
	槽数		27	27	27	27
	槽形		梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$4\frac{1}{3}$　$8\frac{2}{3}$	$2\frac{2}{3}$　$5\frac{1}{3}$	$5\frac{1}{3}$　11	$8\frac{2}{3}$
	总匝数		702　1404	432　864	804　1782	1404
	支路数		2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		1.45/1.69 1.0/1.24	2-1.16/2-1.4 1.25/1.49	1.25/1.49 0.86/1.1	1.0/1.24
	槽节距		1~8	1~8	1~8	1~8
换向器	外径	mm	100	100	100	100
	长度	mm	32　32	46　32	32　32	32
	换向片数					
	换向器节距		1~41	1~41	1~41	1~41
	每杆电刷数		1　1	2　1	1　1	1
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		4	4	4	4
	极身宽度/mm		42	42	42	42
	极长/mm		85	85	85	85
	气隙/mm		1	1	1	1
	每极匝数	串	20　42			
	每极匝数	并	695　1460	1040　2180	1100　2050	1780
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.57/0.64 0.38/0.44	0.62/0.69 0.41/0.47	0.67/0.75 0.44/0.50	0.47/0.53
	并励绕组额定励磁电流/A		1.073　0.495	1.26　0.576	1.347　0.636	0.624
换向极	极数		4	4	4	4
	极身长度/mm		65	65	65	65
	极宽/mm		20	20	20	20
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数		54　105	33　65	65　134	105
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.16×4.7/ 1.50×5.04 1.16×2.44/ 1.47×2.75	1.45×4.7/ 1.49×5.04 1.0×4.7/ 1.34×5.04	1.0×4.7/ 1.34×5.04 1.0×2.44/ 1.31×2.75	1.16×2.44/ 1.47×2.75
绕组用铜重	电枢/kg		2.105　2.005	1.66　1.93	1.93　1.88	1.005
	并励/kg		2.10　1.53	3.46　3.17	4.42　3.47	3.42

（续）

机座号(序号)		Z2-42 1　2	3　4	5　6	7　8	9　10
功率/kW		7.5	4	2.2	1.5	6
电压/V		110　220	110　220	110　220	110　220	110　230
电流/A		81.6　40.8	44.6　22.3	25.32　12.66	18.2　9.16	52.2　62.1
额定转速/(r/min)		3000	1500	1000	750	2850
励磁方式		并	并	并	并	复
电枢	外径 mm	138	138	138	138	138
	内径 mm	45	45	45	45	45
	长度 mm	110	110	110	110	110
	槽数	27	27	27	27	27
	槽形	梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数	$1\frac{1}{3}$　$2\frac{2}{3}$	$2\frac{1}{3}$　$2\frac{2}{3}$	$3\frac{1}{3}$　$6\frac{2}{3}$	$4\frac{1}{3}$　$8\frac{2}{3}$	$1\frac{2}{3}$　$3\frac{1}{3}$
	总匝数	216　432	378　756	450　1080	702　1404	270　540
	支路数	2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm	3-1.56/3-1.82 2-1.35/2-1.59	2-1.45/2-1.69 2-1.45/2-1.69	2-1.16/2-1.4 1.16/1.4	1.45/1.69 1.0/1.24	2-1.56/2-1.82 2-1.16/2-1.4
	槽节距	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8
换向器	外径 mm	100	100	100	100	100
	长度 mm	62　46	46　32	32　32	32　32	32　32
	换向片数	81	81	81	81	81
	换向器节距	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41
	每杆电刷数	3　2	2　1	1　1	1　1	2　1
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数	4	4	4	4	4
	极身宽度/mm	42	42	42	42	42
	极长/mm	100	110	110	110	110
	气隙/mm	1	1	1	1	1
	每极匝数 串	2　3	3　6	3　8	3　5	5　10
	每极匝数 并	790　1460	760　1570	825　1770	825　1640	630　1290
	QZ 线规 ϕ/mm 串	与换向极相同				
	QZ 线规 ϕ/mm 并	0.57/0.64 0.44/0.50	0.69/0.77 0.49/0.54	0.72/0.80 0.51/0.58	0.72/0.80 0.53/0.60	0.62/0.69 0.41/0.47
	并励绕组额定励磁电流/A	1.09　0.641	1.528　0.77	1.56　0.726	1.58　0.816	1.273　0.583
换向极	极数	4	4	4	4	4
	极身长度/mm	90	90	90	90	90
	极宽/mm	20	20	20	20	20
	气隙/mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数	16　33	29　58	41　82	54　106	21　41
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm	2.63×6.4/ 3.03×6.8 2.1×4.7/ 2.5×5.1	2.44×4.7/ 2.84×5.1 1.16×4.7/ 1.5×5.04	1.68×4.7/ 2.02×5.04 1.45×2.44/ 1.76×2.75	1.16×4.7/ 1.5×5.04 1.16×2.44/ 1.47×2.75	2.1×6.4/ 2.5×6.8 1.68×4.7/ 2.02×5.04
绕组用铜重	电枢/kg	2.53　2.525	2.545　2.547	2.332　2.332	2.367　2.25	2.107　2.332
	并励/kg	2.56　2.84	3.71　3.89	4.48　4.95	4.57　4.90	2.395　2.16

(续)

机座号(序号)			Z2-42 11　12	13　14	15　16	17
功率/kW			3.2	5.5	3	3.2
电压/V			115　230	110/160　220/320	110/160　220/320	230
电流/A			27.8　13.9	40.75　20.35	22.2　11.1	13.9
额定转速/(r/min)			1450	2850	1450	1450
励磁方式			复	并	并	他
电枢	外径	mm	138	138	138	138
电枢	内径	mm	45	45	45	45
电枢	长度	mm	110	110	110	110
电枢	槽数		27	27	27	27
电枢	槽形		梨	梨	梨	梨
电枢	每元件匝数		$3\frac{1}{3}$　$6\frac{2}{3}$	2　4	4　8	$6\frac{2}{3}$
电枢	总匝数		540　1080	324　648	648　1296	1080
电枢	支路数		2	2	2	2
电枢	QZ线规 ϕ/mm		2 - 1.16/2 - 1.4 1.16/1.4	2 - 1.35/2 - 1.59 1.45/1.69	1.45/1.69 1.0/1.24	1.16/1.4
电枢	槽节距		1 ~ 8	1 ~ 8	1 ~ 8	1 ~ 8
换向器	外径	mm	100	100	100	100
换向器	长度	mm	46　32	46　32	32　32	32
换向器	换向片数		81	81	81	81
换向器	换向器节距		1 ~ 41	1 ~ 41	1 ~ 41	1 ~ 41
换向器	每杆电刷数		1　1	2　1	1　1	1
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10 × 12.5	10 × 12.5	10 × 12.5	10 × 12.5
主极	极数		4	4	4	4
主极	极身宽度/mm		42	42	42	42
主极	极长/mm		110	110	110	110
主极	气隙/mm		1	1	1	1
主极	每极匝数	串	15　21			
主极	每极匝数	并	665　1330	900　1820	885　1700	
主极	QZ线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
主极	QZ线规 ϕ/mm	并	0.59/0.66 0.41/0.47	0.69/0.77 0.47/0.53	0.72/0.80 0.51/0.58	0.51/0.58
主极	并励绕组额定励磁电流/A		1.138　0.555	1.672　0.765	0.837　0.938	0.821
换向极	极数		4	4	4	4
换向极	极身长度/mm		90	90	90	90
换向极	极宽/mm		20	20	20	20
换向极	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5
换向极	每极匝数		41　82	25　50	50　96	82
换向极	QZ或SBECB线规 ϕ/mm		1.68 × 4.7/ 2.02 × 5.04 1.0 × 4.7/ 1.34 × 5.04	2.1 × 4.7/ 2.5 × 5.1 1.16 × 4.7/ 1.5 × 5.04	1.16 × 4.7/ 1.5 × 5.04 1.16 × 2.44/ 1.47 × 2.75	1.0 × 4.7/ 1.34 × 5.04
绕组用铜重	电枢/kg		2.322　2.33	1.89　2.19	2.19　2.075	2.33
绕组用铜重	并励/kg		2.38　2.31	4.34　4.06	4.69　4.54	3.47

（续）

机座号(序号)		2Z-51 1　2	3　4	5　6	7　8	9　10
功率/kW		10　5.5	5.5　3	3　2.2	2.2　8.5	8.5　4.2
电压/V		220　110	220　110	220　110	220　115	230　115
电流/A		53.8　60.5	30.3　34.3	17.2　26.3	13.15　74	37　36.5
额定转速/(r/min)		3000　1500	1500　1000	1000　750	750　2850	2850　1450
励磁方式		并　并	并　并	并　并	并　复	复　复
电枢	外径/mm	162	162	162	162	162
	内径/mm	55	55	55	55	55
	长度/mm	90	90	90	90	90
	槽数	31	31	31	31	31
	槽形	梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数	2　2	4　3	$5\frac{2}{3}$　$3\frac{2}{3}$	$7\frac{1}{3}$　$1\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$　$2\frac{2}{3}$
	总匝数	372　372	744　558	1054　682	1364　248	496　496
	支路数	2	2	2	2	2
	QZ线规 ϕ/mm	2-1.62/2-1.88 2-1.62/2-1.88	1.68/1.95 2-1.35/2-1.59	1.35/1.59 1.68/1.95	1.16/1.40 3-1.56/3-1.82	2-1.35/2-1.59 2-1.35/2-1.59
	槽节距	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9
换向器	外径/mm	125	125	125	125	125
	长度/mm	48　48	32　48	32　32	32　65	48　48
	换向片数	93	93	93	93	93
	换向器节距	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47
	每杆电刷数	2　2	1　2	1　1	1　3	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数	4	4	4	4	4
	极身宽度/mm	50	50	50	50	50
	极长/mm	90	90	90	90	90
	气隙/mm	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	每极匝数 串	5　4	8　6	8　6	10　5	9　16
	每极匝数 并	1460　910	1780　1060	2040　1120	2160　750	1320　750
	QZ线规 ϕ/mm 串	与换向极相同				
	QZ线规 ϕ/mm 并	0.53/0.60 0.69/0.77	0.51/0.58 0.57/0.75	0.55/0.62 0.77/0.86	0.57/0.64 0.67/0.75	0.49/0.55 0.67/0.75
	并励绕组额定励磁电流/A	1.01　1.4	0.75　1.134	0.75　1.34	0.734　1.425	0.83　1.35
换向极	极数	4	4	4	4	4
	极身长度/mm	65	65	65	65	65
	极宽/mm	20	20	20	20	20
	气隙/mm	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	每极匝数	28　28	57　43	81　52	104　19	38　38
	QZ或SBECB线规 ϕ/mm	1.68×6.4/ 2.02×6.74 1.68×6.4/ 2.02×6.74	1.25×4.7/ 1.60×5.04 1.81×4.7/ 2.16×5.04	1.35×3.28/ 1.7×3.6 1.81×4.7/ 2.16×5.04	1.35×3.28/ 1.7×3.6 2.26×6.4/ 2.66×6.8	1.68×4.7/ 2.03×5.04 1.68×4.7/ 2.03×5.04
绕组用铜重	电枢/kg	3.14　3.14	3.38　3.27	3.1　3.1	2.95　2.92	2.92　2.92
	并励/kg	3.96　4.175	4.62　4.64	6.38　6.86	7.4　3.2	2.95　3.2

（续）

机座号(序号)			11　12	13　14	15　16	Z2-52 1　2
功率/kW			4.2　7.5	7.5　4	4　4.2	13　7.5
电压/V			230　110/160	220/320　110/160	220/320　230	220　110
电流/A			18.25　55.6/49.6	27.8/23.4　29.6/25	14.8/12.5　18.25	68.7　82.2
额定转速/(r/min)			1450　2850	2850　1450	1450　1450	3000　1500
励磁方式			复　并	并　并	并　他	并
电枢	外径	mm	162	162	162	162
电枢	内径	mm	55	55	55	55
电枢	长度	mm	90	90	90	130
电枢	槽数		31	31	31	31
电枢	槽形		梨	梨	梨	梨
电枢	每元件匝数		$5\frac{1}{3}$　$1\frac{2}{3}$	$3\frac{1}{3}$　$3\frac{1}{3}$	$6\frac{2}{3}$　$5\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$　$1\frac{1}{3}$
电枢	总匝数		992　310	620　620	1240　992	248　248
电枢	支路数		2	2	2	2
电枢	QZ 线规 ϕ/mm		1.35/1.59 2－1.68/2－1.95	1.68/1.95 1.68/1.95	1.25/1.49 1.35/1.59	3－1.56/3－1.82 3－1.56/3－1.82
电枢	槽节距		1～9	1～9	1～9	1～9
换向器	外径	mm	125	125	125	125
换向器	长度	mm	32　48	32　48	32　32	65　65
换向器	换向片数		93	93	93	93
换向器	换向器节距		1～47	1～47	1～47	1～47
换向器	每杆电刷数		1　2	1　2	1　1	3　3
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		4	4	4	4
主极	极身宽度/mm		50	50	50	50
主极	极长/mm		90	90	90	130
主极	气隙/mm		1.2	1.2	1.2	1.2
主极	每极匝数	串	29			2　2
主极	每极匝数	并	1480　1000	1920　1080	2120　1430	1180　720
主极	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
主极	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.47/0.53 0.74/0.83	0.53/0.60 0.80/0.89	0.55/0.62 0.57/0.64	0.69/0.77 0.86/0.95
主极	并励绕组额定励磁电流/A		0.683　1.23/1.785	0.625/0.917 1.25/1.875	0.618/0.892 1.045	1.658　2.195
换向极	极数		4	4	4	4
换向极	极身长度/mm		65	65	65	105
换向极	极宽/mm		20	20	20	20
换向极	气隙/mm		1.7	1.7	1.7	1.7
换向极	每极匝数		76　24	47　47	94　76	19　19
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.35×3.28/ 1.7×3.6 1.68×6.4/ 2.02×6.74	1.25×4.7/ 1.60×5.04 1.25×4.7/ 1.60×5.04	1.0×3.38/ 1.35×3.6 1.35×3.28/ 1.7×3.6	2.44×6.4/ 2.84×6.8 2.44×6.4/ 2.84×6.8
绕组用铜重	电枢/kg		2.92　2.82	2.82　2.82	3.11　2.92	3.42　3.42
绕组用铜重	并励/kg		3.16　5.26	5.24　6.92	6.4　4.4	6.9　6.45

（续）

机座号(序号)			3　4	5　6	7　8	9　10	Z2-52 11　12
功率/kW			7.5　4	4　3	3　11	6　6	10　10
电压/V			220　110	220　110	220　230	115　230	110/160　220/320
电流/A			41.1　45.2	22.6　35	17.5　47.8	52.2　26.1	74/62.5　37/31.25
额定转速/(r/min)			1500　1000	1000　750	750　2850	1450　1450	2850　2850
励磁方式			并	并	并　复	复	并
电枢	外径	mm	162	162	162	162	162
	内径		55	55	55	55	55
	长度		130	130	130	130	130
	槽数		31	31	31	31	31
	槽形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$2\frac{2}{3}$　2	4　$2\frac{2}{3}$	$5\frac{1}{3}$　2	2　4	$1\frac{1}{3}$　$2\frac{1}{3}$
	总匝数		496　372	744　496	992　372	372　744	248　434
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2-1.35/2-1.59 2-1.62/2-1.88	1.62/2-1.88 2-1.45/2-1.69	1.35/1.59 2-1.62/2-1.88	2-1.62/2-1.88 1.62/2-1.88	3-1.56/3-1.82 2-1.95/2-1.69
	槽节距		1~9	1~9	1~9	1~9	1~9
换向器	外径	mm	125	125	125	125	125
	长度		48　48	32　48	32　48	48　32	65　46
	换向片数		93	93	93	93	93
	换向器节距		1~47	1~47	1~47	1~47	~147
	每杆电刷数		2　2	1　2	1　2	2　1	3　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		4	4	4	4	4
	极身宽度/mm		50	50	50	50	50
	极长/mm		130	130	130	130	130
	气隙/mm		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	每极匝数	串	4　3	7　4	8　4	7　14	
		并	1390　720	1460　880	1680　1100	610　1220	780　1560
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	0.62/0.69 0.83/0.92	0.59/0.66 0.80/0.89	0.57/0.64 0.49/0.55	0.69/0.77 0.49/0.65	0.67/0.75 0.55/0.62
	并励绕组额定励磁电流/A		1.176　1.07	1.04　1.563	0.80　0.85	1.436　0.741	1.166/1.565 0.718/1.064
换向极	极数		4	4	4	4	4
	极身长度/mm		105	105	105	105	105
	极宽/mm		20	20	20	20	20
	气隙/mm		1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	每极匝数		38　28	57　38	76　28	28　57	19　33
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.68×4.7/ 2.03×5.04 1.68×6.4/ 2.03×6.74	1.16×4.7/ 1.51×5.04 1.68×4.7/ 2.03×5.04	1.35×3.28/ 1.7×3.6 1.68×6.4/ 2.03×6.74	1.68×6.4/ 2.03×6.74 1.16×4.7/ 1.51×5.04	2.44×6.4/ 2.84×6.8 1.68×4.71 2.03×5.04
绕组用铜重	电枢/kg		3.42　3.68	3.68　4.24	3.42　3.68	3.68　3.42	3.42　3.44
	并励/kg		6.48　6.0	6.17　6.92	6.71　3.01	3.40　3.37	4.0　5.54

（续）

机座号（序号）			13　14	15	Z2-61 1　2	3　4
功率/kW			5.5　5.5	6	17　10	10　5.5
电压/V			110/160　220/320	230	220　110	220　110
电流/A			40.7/34.4　20.4/17.18	26.1	88.9　107.6	53.8　60.6
额定转速/（r/min）			1450　1450	1450	3000　1500	1500　1000
励磁方式			并	他	并	并
电枢	外径	mm	162	162	195	195
	内径	mm	55	55	55	55
	长度	mm	130	130	95	95
	槽数		31	31	31	31
	槽形		梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$2\frac{1}{3}$　$4\frac{2}{3}$	4	$1\frac{2}{3}$　$1\frac{2}{3}$	3　$2\frac{1}{3}$
	总匝数		434　868	744	310　310	558　434
	支路数		2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2－1.45/2－1.69 1.45/1.69	1.62/1.88	4－1.62/4－1.88 4－1.62/4－1.88	2－1.56/2－1.82 3－1.56/3－1.82
	槽节距		1～9	1～9	1～9	1～9
换向器	外径	mm	125	125	125	125
	长度	mm	48　32	32	80　80	48　48
	换向片数		93	93	93	93
	换向器节距		1～47	1～47	1～47	1～47
	每杆电刷数		2　1	1	4　4	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		4	4	4	4
	极身宽度/mm		50	50	58	58
	极长/mm		130	130	95	95
	气隙/mm		1.2	1.2	1.5	1.5
	每极匝数	串			4　4	6　5
		并	880　1530	1100	1460　930	1800　950
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
		并	0.83/0.92 0.59/0.66	0.57/0.64	0.57/0.64 0.72/0.80	0.67/0.75 0.83/0.92
	并励绕组额定 励磁电流/A		1.42/2.07 0.804/1.17	1.11	1.123　1.447	1.178　1.718
换向极	极数		4	4	4	4
	极身长度/mm		105	105	70	70
	极宽/mm		20	20	25	25
	气隙/mm		1.7	1.7	2.5	2.5
	每极匝数		33　66	57	24　24	44　33
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.68×4.7/ 2.03×5.04 1.35×3.28/ 1.7×3.6	1.16×4.7/ 1.51×5.04	1.45×12.5 1.81×1.25	1.68×6.4/ 2.07×6.75 1.95×6.4/ 2.34×6.75
绕组用铜重	电枢/kg		3.44　3.44	3.42	5.98　5.98	5.0　5.84
	并励/kg		7.28　6.31	4.08	4.74　4.93	9.07　6.95

（续）

机座号（序号）			5　6	7　8	9　10	11　12	13　14
功率/kW			5.5　4	4　14	8.5　8.5	13　7.5	7.5　8.5
电压/V			220　110	220　230	115　230	220/320 110/160	220/320　230
电流/A			30.3　46.4	23.2　61	74　37	43.1/40.6 55.6/46.9	27.8/23.4　37
额定转速/(r/min)			1000　750	750　2850	1450　1450	2850　1450	1450　1450
励磁方式			并	并　复	复	并	并　他
电枢	外径	mm	195	195	195	195	195
	内径		55	55	55	55	55
	长度		95	95	95	95	95
	槽数		31	31	31	31	31
	槽形		梨	梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$4\frac{1}{3}$　3	6　2	2　$4\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$　$2\frac{2}{3}$	$5\frac{1}{3}$　$4\frac{1}{3}$
	总匝数		806　558	1116　372	372　806	496　496	992　806
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2－1.35/2－1.59 2－1.56/2－1.92	1.56/1.82 3－1.56/3－1.82	3－1.35/3－1.59 2－1.35/2－1.59	3－1.35/3－1.59 3－1.35/3－1.59	2－1.16/2－1.40 2－1.35/2－1.59
	槽节距		1～9	1～9	1～9	1～9	1～9
换向器	外径	mm	125	125	125	125	125
	长度		48　48	48　65	65　48	48　65	48　48
	换向片数		93	93	93	93	93
	换向器节距		1～47	1～47	1～47	1～47	1～47
	每杆电刷数		2　2	2　3	3　2	2　2	2　2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		4	4	4	4	4
	极身宽度/mm		58	58	58	58	58
	极长/mm		95	95	95	95	95
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数	串	10　7	14　8	10　18		
		并	1800　1000	1900　1240	820　1630	1700　1100	2100　6600
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	0.72/0.80 0.80/0.89	0.59/0.66 0.59/0.66	0.90/0.99 0.55/0.62	0.59/0.66 0.90/0.99	0.64/0.72 0.67/0.75
	并励绕组额定励磁电流/A		1.282　1.596	0.862　1.18	1.928　0.761	0.842/1.23 1.454/2.165	0.776/1.132 1.14
换向极	极数		4	4	4	4	4
	极身长度/mm		70	70	70	70	70
	极宽/mm		25	25	25	25	25
	气隙/mm		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	每极匝数		63　44	88　29	29　63	39　38	78　63
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.35×4.7/ 1.74×5.05 1.68×6.4/ 2.07×6.75	1.16×4.7/ 1.54×5.05 2.1×6.4/ 2.5×6.8	2.44×6.4/ 2.84×6.8 1.25×6.4/ 1.59×6.74	1.56×6.4/ 1.9×6.74 1.68×6.4/ 2.02×6.74	1.16×4.7/ 1.5×5.04 1.25×6.4/ 1.59×6.74
绕组用铜重	电枢/kg		5.41　5.0	5.0　5.0	5.0　5.41	5.0　5.0	4.9　5.41
	并励/kg		10.72　6.77	7.25　4.43	7.21　5.20	6.05　9.50	9.27　7.48

（续）

机座号（序号）			Z2-62 1　2	3　4	5　6	7　8
功率/kW			22　13	13　7.5	7.5　5.5	5.5　19
电压/V			220　110	220　110	220　110	220　230
电流/A			114.2　139	69.5　82.6	41.3　62.2	31.1　82.6
额定转速/（r/min）			3000　1500	1500　1000	1000　750	750　2850
励磁方式			并	并	并	并　复
电枢	外径	mm	195	195	195	195
	内径	mm	55	55	55	55
	长度	mm	125	125	125	125
	槽数		31	31	31	31
	槽形		梨	梨	梨	梨
	每元件匝数		$1\frac{1}{3}$　$1\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{3}$　$1\frac{2}{3}$	$3\frac{2}{3}$　$2\frac{1}{3}$	$4\frac{1}{3}$　$1\frac{2}{3}$
	总匝数		248　248	434　310	682　434	806　310
	支路数		2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		5－1.62/5－1.88 5－1.62/5－1.88	3－1.56/3－1.82 4－1.62/4－1.88	2－1.45/2－1.69 3－1.56/3－1.82	2－1.25/2－1.49 4－1.62/4－1.88
	槽节距		1～9	1～9	1～9	1～9
换向器	外径	mm	125	125	125	125
	长度	mm	80　80	65　65	48　48	48　65
	换向片数		93	93	93	93
	换向器节距		1～47	1～47	1～47	1～47
	每杆电刷数		4　4	3　3	2　2	2　3
	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）		10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5
主极	极数		4	4	4	4
	极身宽度/mm		58	58	58	58
	极长/mm		125	125	125	125
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数	串	4　3	8　3	10　6	6　5
		并	1280　830	1530　790	1670　900	1730　1100
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
		并	0.55/0.62 0.69/0.77	0.69/0.77 1.08/1.19	0.59/0.66 0.9/0.99	0.77/0.86 0.55/0.62
	并励绕组额定励磁电流/A		1.052　1.32	1.2　2.95	0.878　1.785	1.33　1.049
换向极	极数		4	4	4	4
	极身长度/mm		100	100	100	100
	极宽/mm		25	25	25	25
	气隙/mm		2.5	2.5	2.5	2.5
	每极匝数		19　20	35　24	54　34	64　24
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.81×12.5 2.26×12.5	2.26×6.4/ 2.66×6.8 1.45×12.5	1.81×4.7/ 2.16×5.04 1.95×6.4/ 2.29×6.74	1.35×4.7/ 1.70×5.04 1.45×12.5
绕组用铜重	电枢/kg		6.67　6.68	6.5　6.67	5.89　6.5	5.16　6.67
	并励/kg		4.54　4.61	8.77　11.85	7.11　9.28	13.7　3.85

（续）

	机座号(序号)		9　10	11　12	13　14	Z2-71 1　2
	功率/kW		11　11	17　10	10　11	30　17
	电压/V		115　230	220/320　110/160	220/320　230	220　110
	电流/A		95.6　47.8	63/53.1　74/62.5	37/31.2　47.8	155　180.6
	额定转速/(r/min)		1450　1450	2850　1450	1450　1450	3000　1500
	励磁方式		复	并	并　他	分
电枢	外径	mm	195	195	195	210
	内径	mm	55	55	55	60
	长度	mm	125	125	125	125
	槽数		31	31	31	35　33
	槽形		梨	梨	梨	矩
	每元件匝数		$1\frac{2}{3}$　$3\frac{1}{3}$	2　2	4　$3\frac{1}{3}$	1　1
	总匝数		310　620	372　372	744　620	210　198
	支路数		2	2	2	2　2
	QZ 线规 ϕ/mm		2-1.62/4-1.88 4-1.62/4-1.88	3-1.56/3-1.82 3-1.56/3-1.82	2-1.35/2-1.59 2-1.62/2-1.88	2-1.16×4.7/2-1.5×5.04 2-1.45×4.7/2-1.78×5.03
	槽节距		1~9	1~9	1~9	1~10　1~9
换向器	外径	mm	125	125	125	150
	长度	mm	80　48	65　65	48　48	130　100
	换向片数		93	93	93	105　99
	换向器节距		1~47	1~47	1~47	1~53　1~50
	每杆电刷数		4　2	3　3	2　2	3　3
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		10×12.5	10×12.5	10×12.5	12.5×25
主极	极数		4	4	4	4
	极身宽度/mm		58	58	58	68
	极长/mm		125	125	125	125
	气隙/mm		1.5	1.5	1.5	1.5
	每极匝数	串	5　10			3　2
	每极匝数	并	720　1310	1450　880	1850　1450	1060　520
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.83/0.92 0.59/0.66	0.67/0.75 1.0/1.11	0.69/0.77 0.67/0.75	0.72/0.8　1.12/1.23
	并励绕组额定励磁电流/A		1.715　0.956	0.98/1.538 1.854/2.785	0.86/1.32 1.172	1.765　4.36　2.13　4.36
换向极	极数		4	4	4	4
	极身长度/mm		100	100	100	95
	极宽/mm		25	25	25	28
	气隙/mm		2.5	2.5	2.5	3
	每极匝数		24　49	29　29	59　49	16　16
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.68×12.5 1.56×6.4/ 1.9×6.74	1.95×6.4/ 2.29×6.8 2.44×6.4/ 2.84×6.8	1.68×4.7/ 2.03×5.04 1.46×6.4/ 1.9×6.74	3.05×12.5 3.05×12.5
绕组用铜重	电枢/kg		6.67　6.68	5.57　5.57	5.55　6.68	6.81　8.09
	并励/kg		5.92　5.47	7.86　10.9	10.96　7.84	7.1　8.44

（续）

机座号(序号)			3　4	5　6	7　8
功率/kW			17　10	10　7.5	7.5　14
电压/V			220　110	220　110	220　115
电流/A			90　109.6	54.8　83.6	41.1　121.7
额定转速/(r/min)			1500　1000	1000　750	750　1450
励磁方式			分	分	分　复
电枢	外径	mm	210	210	210
电枢	内径	mm	60	60	60
电枢	长度	mm	125	125	125
电枢	槽数		33　27	33　33	25　27
电枢	槽形		矩	矩	矩
电枢	每元件匝数		2　2	3　2	3　1
电枢	总匝数		396　324	594　396	750　270
电枢	支路数		2	2	2
电枢	QZ 线规 ϕ/mm		1.45×4.7/　1.95×4.7/ 1.78×5.03　2.29×5.03	1.35×3.05/　1.45×4.7/ 1.68×3.38　1.78×5.03	1.08×3.051　2-1.08×4.7 1.41×3.38　2-1.41×5.0
电枢	槽节距		1~9　1~8	1~9　1~9	1~7　1~8
换向器	外径	mm	150	150	150
换向器	长度	mm	100　100	100　100	100　100
换向器	换向片数		99　81	99　99	125　135
换向器	换向器节距		1~50　1~41	1~50　1~50	1~63　1~68
换向器	每杆电刷数		2　2	1　2	1　2
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		12.5×25	12.5×25	12.5×25
主极	极数		4	4	4
主极	极身宽度/mm		68	68	68
主极	极长/mm		125	125	125
主极	气隙/mm		1.5	1.5	1.5
主极	每极匝数	串	4　2	4	3　5
主极	每极匝数	并	1100　600	1320　670	1320　510
主极	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同		
主极	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.8/0.89 0.96/1.05	0.77/0.86 1.08/1.18	0.8/0.89 1.04/1.15
主极	并励绕组额定励磁电流/A		2.135　2.955	1.639　3.38	1.825　4.11
换向极	极数		4	4	4
换向极	极身长度/mm		95	95	95
换向极	极宽/mm		28	28	28
换向极	气隙/mm		3	3	3
换向极	每极匝数		30　25	45　30	57　21
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		3.53×6.1/3.82×6.13 1.95×12.5	1.95×6.4/2.02×6.72 3.53×6.4/3.82×6.72	1.68×6.4/1.95×6.67 2.26×14.5
绕组用铜重	电枢/kg		8.07　8.96	7.17　8.09	7.14　8.12
绕组用铜重	并励/kg		9.36　7.07	10.6　10.12	11.5　7.2

（续）

	机座号（序号）		9　10	11　12	13	Z2-72 1　2
	功率/kW		14　13	13　14	14	40　22
	电压/V		230　110/160	220/320　115	230	220　110
	电流/A		61　96.4/81.3	48.1/40.6　121.7	61	205.6　232.6
	额定转速/(r/min)		1450　1450	1450　1450	1450	3000　1500
	励磁方式		复　分	并　他	他	并
电枢	外径	mm	210	210	210	210
电枢	内径	mm	60	60	60	60
电枢	长度	mm	125	125	125	160
电枢	槽数		27　27	35　27	27	27　27
电枢	槽形		矩	矩	矩	矩
电枢	每元件匝数		2　2	3　1	2	1　1
电枢	总匝数		540　324	630　270	540	162　162
电枢	支路数		2	2	2	2
电枢	QZ 线规 ϕ/mm		1.08×4.7/ 1.81×4.7/ 1.41×5.03 2.14×5.03	1.16×3.051 2-1.0×4.71 1.5×3.38 2-1.4×5.3	1.08×4.7/ 1.41×5.03	2-1.81×4.71 2-1.81×4.71 2-2.08×4.97 2-1.41×5.3
电枢	槽节距		1~8　1~8	1~10　1~9	1~9	1~8　1~8
换向器	外径	mm	150	150	150	150
换向器	长度	mm	100　100	100　100	100	
换向器	换向片数		135　81	105　135	135	81　81
换向器	换向器节距		1~68　1~41	1~53　1~68	1~68	1~41　1~41
换向器	每杆电刷数		1　2	1　2	1	3　3
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		12.5×25	12.5×25	12.5×25	12.5×25
主极	极数		4	4	4	4
主极	极身宽度/mm		68	68	68	68
主极	极长/mm		125	125	125	160
主极	气隙/mm		15	1.5	1.5	1.5
主极	每极匝数	串	9			2　1
主极	每极匝数	并	1020　780	1500　540	1046	920　520
主极	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
主极	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.74/0.83 1.08/1.18	0.83/0.92 1.16/1.27	0.83/0.92	0.80/0.89 1.08/1.19
主极	并励绕组额定励磁电流/A		1.691　2.565/3.605	1.35/2.065　4.26	2.17	2.3　3.93
换向极	极数		4	4	4	4
换向极	极身长度/mm		95	95	95	130
换向极	极宽/mm		28	28	28	28
换向极	气隙/mm		3	3	3	3
换向极	每极匝数		40　25	48　21	40	13　13
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2.26×6.4/ 2.59×6.13 1.95×12.5	1.68×6.4/ 2.02×6.73 2.26×12.5	2.26×6.4/ 2.59×6.73	4.1×12.5　4.1×12.5
绕组用铜重	电枢/kg		8.13　8.3	6.49　8.12	8.13	8.75　9.16
绕组用铜重	并励/kg		7.32　11.99	14　9.35	9.26	8.9　8.9

（续）

部件	项目	单位						
	机座号(序号)		3	4	5	6	7	8
	功率/kW		22	13	13	10	10	19
	电压/V		220	110	220	110	220	115
	电流/A		115.4	142.3	70.7	112.1	55.8	165.1
	额定转速/(r/min)		1500	1000	1000	750	750	1450
	励磁方式		并		并		并	复
电枢	外径	mm	210		210		210	
电枢	内径	mm	60		60		60	
电枢	长度	mm	160		160		160	
电枢	槽数		27	25	25	27	33	33
电枢	槽形		矩		矩		矩	
电枢	每元件匝数		2	1	2	2	3	1
电枢	总匝数		324	250	500	324	594	198
电枢	支路数		2		2		2	
电枢	QZ 线规 ϕ/mm		1.81×4.71 2.08×4.97	2-1.16×4.7 2-1.43×4.97	1.16×4.71 1.43×4.97	1.95×4.71 2.27×4.97	1.35×3.051 1.62×3.32	2-1.35×4.7 2-1.62×4.9
电枢	槽节距		1~8	1~7	1~7	1~8	1~9	1~9
换向器	外径	mm	150		150		150	
换向器	长度	mm						
换向器	换向片数		81	125	125	81	99	99
换向器	换向器节距		1~41	1~63	1~63	1~41	1~50	1~50
换向器	每杆电刷数		2	2	2	2	1	3
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		12.5×25		12.5×25		12.5×25	
主极	极数		4		4		4	
主极	极身宽度/mm		68		68		68	
主极	极长/mm		160		160		160	
主极	气隙/mm		1.5		1.5		1.5	
主极	每极匝数	串	3	1	2			4
主极	每极匝数	并	1050	520	1050	610	1130	470
主极	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同					
主极	QZ 线规 ϕ/mm	并	0.77/ 0.86	1.08/ 1.19	0.77/ 0.86	1.16 1.27	0.9/ 0.99	1.2/ 1.31
主极	并励绕组额定励磁电流/A		1.9	3.66	1.865	3.52	2.39	4.26
换向极	极数		4		4		4	
换向极	极身长度/mm		130		130		130	
换向极	极宽/mm		28		28		28	
换向极	气隙/mm		3		3		3	
换向极	每极匝数		25	19	37	25	45	16
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		1.95×12.5 2.63×12.5		2.63×6.4/ 2.96×6.73 1.95×12.5		2.26×6.4/ 2.59×6.73 3.05×12.5	
绕组用铜量	电枢/kg		9.16	8.94	8.94	9.89	7.92	8.78
绕组用铜量	并励/kg		9.35	8.94	9.41	12.4	13.96	10.4

（续）

机座号（序号）		9	10	11	12	13	Z2-81 1	Z2-81 2
功率/kW		19	17	17	19	19	30	30
电压/V		230	110/160	220/320	115	230	110	220
电流/A		82.55	126/106	63/53.1	165.1	82.55	315.5	156.9
额定转速/（r/min）		1450	1450	1450	1450	1450	1500	1500
励磁方式		复	并	并	他	他	并	
电枢	外径/mm	210		210		210	245	
电枢	内径/mm	60		60		60	70	
电枢	长度/mm	160		160		160	135	
电枢	槽数	33	27	27	33	33	27	27
电枢	槽形	矩		矩		矩	矩	
电枢	每元件匝数	2	1	2	1	2	1	2
电枢	总匝数	396	270	540	198	396	162	324
电枢	支路数	2		2		2	2	
电枢	QZ 线规 ϕ/mm	1.35×4.71 1.62×4.97	2-1.08×4.71 2-1.35×4.97	1.08×4.71 1.35×4.97	2-1.35×4.71 2-1.62×4.97	1.35×4.7/ 1.62×4.97	2-2.83×4.71 2-3.23×5.1	2.83×4.71 3.23×5.1
电枢	槽节距	1~9	1~8	1~8	1~9	1~9	1~8	1~8
换向器	外径/mm	150		150		150	180	
换向器	长度/mm						190	130
换向器	换向片数	99	135	135	99	99	81	81
换向器	换向器节距	1~50	1~63	1~63	1~50	1~50	1~41	1~41
换向器	每杆电刷数	2	2	1	3	2	4	3
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）	12.5×25		12.5×25		12.5×25	12.5×25	
主极	极数	3		4		4	4	
主极	极身宽度/mm	68		68		68	84	
主极	极长/mm	160		160		160	135	
主极	气隙/mm	1.5		1.5		1.5	2	
主极	每极匝数 串	8					1	3
主极	每极匝数 并	850	610	1260	420	830	570	1150
主极	QZ 线规 ϕ/mm 串	与换向极相同						
主极	QZ 线规 ϕ/mm 并	0.86/ 0.95	1.16/ 1.27	0.8/ 0.89	1.35/ 1.46	0.93/1.02	1.30/ 1.41	0.90/ 0.99
主极	并励绕组额定励磁电流/A	2.26	3.13	1.475	6.34	3.05	4.83	2.345
换向极	极数	4		4		4	4	
换向极	极身长度/mm	130		130		130	105	
换向极	极宽/mm	28		28		28	32	
换向极	气隙/mm	3		3		3	4	
换向极	每极匝数	30	21	40	16	30	13	25
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm	3.05×6.4/ 3.28×6.73 2.26×12.5		2.26×6.4/ 2.59×6.73 3.05×12.5		3.05×6.4/ 3.38×6.73	4.4×14.5	2.1×14.5
绕组用铜重	电枢/kg	8.27	8.97	9	8.78	8.27	14.6	14.6
绕组用铜重	并励/kg	9.67	12.35	12.15	11.4	10.67	14.05	13.75

（续）

机座号(序号)			3	4	5	6	7	8
功率/kW			17	17	13	13	26	26
电压/V			110	220	110	220	115	230
电流/A			185	92	145	72.1	226	113
额定转速/(r/min)			1000	1000	750	750	1450	1450
励磁方式			并		并		复	
电枢	外径	mm	245		245		245	
	内径	mm	70		70		70	
	长度	mm	135		135		135	
	槽数		35	35	27	27	31	31
	槽形		矩		矩		矩	
	每元件匝数		1	2	1	2	1	2
	总匝数		210	420	270	540	186	372
	支路数		2		2		2	
	QZ 线规 ϕ/mm		2-1.56×4.71 2-1.9×5.04	1.56×4.71 1.9×5.04	2-1.16×4.71 2-1.5×5.04	1.16×4.7 1.5×5.04	2-1.95×4.71 2-2.25×5.04	1.95×4.7 2.25×5.04
	槽节距		1~10	1~10	1~8	1~8	1~9	1~9
换向器	外径	mm	180		180		180	
	长度	mm	160	100	130	100	160	130
	换向片数		105	105	135	135	93	93
	换向器节距		1~53	1~53	1~63	1~63	1~47	1~47
	每杆电刷数		3	2	3	2	4	2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		12.5×25		12.5×25		12.5×25	
主极	极数		4		4		4	
	极身宽度/mm		84		84		84	
	极长/mm		135		135		135	
	气隙/mm		2		2		2	
	每极匝数	串	1	2	1	2	4	8
		并	700	1320	700	1320	520	1000
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同					
		并	1.40/ 1.51	1.0/ 1.11	1.40/ 1.51	1.0/ 1.11	1.30/ 1.41	0.90/ 0.99
	并励绕组额定励磁电流/A		4.51	2.465	4.46	2.475	4.61	2.28
换向极	极数		4		4		4	
	极身长度/mm		105		105		105	
	极宽/mm		32		32		32	
	气隙/mm		4		4		4	
	每极匝数		18	34	23	43	15	29
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2.83×14.5 3.05×6.4/ 3.38×6.73		2.26×14.5 2.44×6.4/ 2.77×6.73		3.28×14.5	1.68×14.5
绕组用铜重	电枢/kg		10.52	10.52	9.95	9.95	11.7	11.65
	并励/kg		21	20.6	21	20.6	13.08	12.1

（续）

机座号(序号)			9　10	11　12	13　14	15
功率/kW			14　14	22　22	26　26	14
电压/V			115　230	110/160　220/320	115　230	230
电流/A			115　60.9	163/137.5　81.5/68.7	226　113	60.9
额定转速/(r/min)			960　960	1450　1450	1450　1450	960
励磁方式			复	并	他	他
电枢	外径	mm	245	245	245	245
	内径	mm	70	70	70	70
	长度	mm	135	135	135	135
	槽数		27　27	27　27	31　31	27
	槽形		矩	矩	矩	矩
	每元件匝数		1　2	1　2	1　2	2
	总匝数		270　540	270　540	186　372	540
	支路数		2	2	2	2
	QZ线规 ϕ/mm		2-1.08×4.7　1.08×4.7 2-1.42×5.04　1.42×5.04	2-1.56×4.71　1.56×4.7 2-1.9×5.04　1.9×5.04	2-1.95×4.71　1.95×4.71 2-2.25×5.04　2.25×5.04	1.08×4.7/ 1.42×5.04
	槽节距		1~8　1~8	1~8　1~8	1~9　1~9	1~8
换向器	外径	mm	180	180	180	180
	长度	mm				
	换向片数		135　135	135　135	93　93	135
	换向器节距		1~63　1~63	1~63　1~63	1~47　1~47	1~63
	每杆电刷数		2　2	3　2	4　2	2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		12.5×25	12.5×25	12.5×25	12.5×25
主极	极数		4	4	4	4
	极身宽度/mm		84	84	84	84
	极长/mm		135	135	135	135
	气隙/mm		2	2	2	2
	每极匝数	串	9　18			
		并	500　1000	700　1480	550　1150	1150
	QZ线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
		并	1.35/　0.93/ 1.46　1.02	1.25/　0.86/ 1.36　0.95	1.45/　1.08/ 1.56　1.19	1.08/1.19
	并励绕组额定励磁电流/A		4.84　2.3524	3.4/　1.58/ 4.6　2.12	5.75　2.765	2.85
换向极	极数		4	4	4	4
	极身长度/mm		105	105	105	105
	极宽/mm		32	32	32	32
	气隙/mm		4	4	4	4
	每极匝数		23　43	22　42	15　29	43
	QZ或SBECB线规 ϕ/mm		2.26×14.5 2.44×6.4/ 2.77×6.73	2.44×14.5 2.83×6.4/ 3.16×6.73	3.28×14.5 1.68×14.5	2.44×6.4/ 2.77×6.73
绕组用铜重	电枢/kg		9.22　9.25	13.5　13.5	11.7　11.65	9.25
	并励/kg		14　12.95	16.05　16.3	17.1　20.45	20.45

（续）

机座号(序号)			Z2-82 1　2	3　4	5　6
功率/kW			40　22	22　17	17　35
电压/V			220　110	220　110	220　115
电流/A			208　238	118.2　187.2	93.2　304
额定转速/(r/min)			1500　1000	1000　750	750　1450
励磁方式			并	并	并　复
电枢	外径	mm	245	245	245
	内径	mm	70	70	70
	长度	mm	180	180	180
	槽数		35　27	27　35	35　27
	槽形		矩	矩	矩
	每元件匝数		1　1	2　1	2　1
	总匝数		210　162	324　210	420　162
	支路数		2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2 - 1.68 × 4.71　2 - 2.1 × 4.71 2 - 2.02 × 5.04　2 - 2.5 × 5.1	2.1 × 4.71　2 - 1.56 × 4.7 2.5 × 5.12　2 - 1.70 × 5.04	1.56 × 4.71　2 - 2.83 × 4.71 1.90 × 5.04　2 - 3.23 × 5.1
	槽节距		1 ~ 10　1 ~ 8	1 ~ 8　1 ~ 10	1 ~ 10　1 ~ 8
换向器	外径	mm	180	180	180
	长度	mm	160　160	160　100	100　130
	换向片数		105　81	81　105	105　81
	换向器节距		1 ~ 63　1 ~ 41	1 ~ 41　1 ~ 53	1 ~ 53　1 ~ 41
	每杆电刷数		3　4	2　3	2　4
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		12.5 × 25	12.5 × 25	12.5 × 25
主极	极数		4	4	4
	极身宽度/mm		84	84	84
	极长/mm		180	180	180
	气隙/mm		2	2	2
	每极匝数	串	2　1	3　1	2　2
		并	1000　610	1120　600	1200　550
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同		
		并	1.16/1.27　1.45/1.56	1.0/1.11　1.5/1.61	1.08/1.10　1.35/1.46
	并励绕组额定励磁电流/A		3.702　4.6	2.51　5.32	2.695　3.89
换向极	极数		4	4	4
	极身长度/mm		150	150	150
	极宽/mm		32	32	32
	气隙/mm		4	4	4
	每极匝数		17　13	25　17	35　13
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		3.05 × 14.5 3.53 × 14.5	1.81 × 14.5 3.05 × 14.5	3.28 × 6.4/ 3.61 × 6.73 4.4 × 14.5
绕组用铜重	电枢/kg		12.82　11.9	11.9　11.7	11.7　16.21
	并励/kg		24.47　23.01	19.9　24.48	25.6　24.87

（续）

机座号（序号）			7	8	9	10	11	12	13	14
功率/kW			35	19	19	30	30	35	35	19
电压/V			230	115	230	110/160	220/320	115	230	115
电流/A			152	165	82.5	222/187.5	111/93.75	304	152	165
额定转速/（r/min）			1450	960	960	1450	1450	1450	1450	960
励磁方式			复		复	并	并	他	他	
电枢	外径	mm	245		245		245		245	
	内径	mm	70		70		70		70	
	长度	mm	180		180		180		180	
	槽数		27	35	35	31	31	27	27	35
	槽形		矩		矩		矩		矩	
	每元件匝数		2	1	2	1	2	1	2	1
	总匝数		324	210	420	186	372	162	324	210
	支路数		2		2		2			
	QZ 线规 ϕ/mm		2.83×4.71 3.23×5.1	2－1.56×4.71 2－1.9×5.04	1.56×4.71 1.9×5.04	2－1.95×4.71 2－2.29×5.04	1.95×4.71 2.29×5.04	2－2.83×4.71 2－3.23×5.1	2.83×4.71 3.23×5.1	2－1.56×4.7 2－1.9×5.04
	槽节距		1～8	1～10	1～10	1～9	1～9	1～9	1～9	1～10
换向器	外径	mm	180		180		180		180	
	长度	mm	100							
	换向片数		81	105	115	93	93	81	81	105
	换向器节距		1～41	1～53	1～53	1～47	1～47	1～41	1～41	1～53
	每杆电刷数		3	3	2	4	2	4	3	3
	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）		12.5×25		12.5×25		12.5×25		12.5×25	
主极	极数		4		4		4		4	
	极身宽度/mm		84		84		84		84	
	极长/mm		180		180		180		180	
	气隙/mm		2		2		2		2	
	每极匝数	串	4	5	10					
		并	850	470	1000	650	1380	530	1000	490
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同							
		并	0.93/ 1.02	1.45/ 1.56	1.04/ 1.25	1.04/ 1.51	1.0/ 1.11	1.45/ 1.56	1.04/ 1.15	1.68/ 1.95
	并励绕组额定励磁电流/A		2.435	5.37	2.434	3.75/5.28	1.77/ 2.44	5.1	2.67	6.63
换向极	极数		4		4		4		4	
	极身长度/mm		150		150		150		150	
	极宽/mm		32		32		32		32	
	气隙/mm		4		4		4		4	
	每极匝数		26	18	34	15	30	13	26	18
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2.26× 14.5	2.63× 14.5	2.83×6.4/ 3.16×6.73 3.53×14.5		3.8×6.4/ 4.13×6.73 4.4×14.5		2.26×14.5 2.63×14.5	
绕组用铜重	电枢/kg		10.21	11.7	11.7	13.05	13.05	16.25	16.25	11.7
	并励/kg		12.49	17.45	19.65	22.39	24.6	19.17	18.75	24.91

（续）

机座号(序号)			15	Z2-91 1	2	3	4
功率/kW			19	55	30	30	22
电压/V			230	220	110	220	110
电流/A			82.5	284	319	158.5	239.5
额定转速/(r/min)			900	1500	1000	1000	750
励磁方式			并	并		并	
电枢	外径	mm	245	294		294	
	内径	mm	70	80		80	
	长度	mm	180	145		145	
	槽数		35	37	29	29	37
	槽形		矩	矩		矩	
	每元件匝数		2	1	1	2	1
	总匝数		420	222	174	348	222
	支路数		2	2	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		1.56×4.71 1.9×5.04	2-1.81×6.41 2-2.08×6.67	2-2.44×6.41 2-2.77×6.73	2.44×6.41 2.77×6.73	2-1.81×6.4 2-2.08×6.67
	槽节距		1~10	1~10	1~8	1~8	1~10
换向器	外径	mm	180	200		200	
	长度	mm		150	150	120	120
	换向片数		105	111	87	87	111
	换向器节距		1~53	1~56	1~44	1~44	1~56
	每杆电刷数		2	4	4	3	3
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		12.5×25	16×25		16×25	
主极	极数		4	4		4	
	极身宽度/mm		84	106		106	
	极长/mm		180	145		145	
	气隙/mm		2	2.5		2.5	
	每极匝数	串		2	1	2	1
		并	970	920	520	1000	540
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	1.16/1.27	1.2/ 1.31	1.56/ 1.69	1.16/ 1.27	1.68/ 1.92
	并励绕组额定励磁电流/A		3.27	4.12	6.15	3.319	6.5
换向极	极数		4	4		4	
	极身长度/mm		150	115		115	
	极宽/mm		32	40		40	
	气隙/mm		4	5		5	
	每极匝数		34	17	14	27	18
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		3.16×6.73 3.83×6.4	4.4×19.5 5.5×19.5		2.63×19.5 4.4×19.5	
绕组用铜重	电枢/kg		11.7	20.6	21.4	21.4	20.6
	并励/kg		23.1	22.7	21.2	22.8	26.3

（续）

机座号(序号)			5	6	7	8	9	10	11	12
功率/kW			22	17	17	48	48	26	26	40
电压/V			220	110	220	115	230	150	230	110/160
电流/A			119	193	95.5	418	209	226	113	296/250
额定转速/(r/min)			750	600	600	1450	1450	960	960	1450
励磁方式			并		并	复	复		复	并
电枢	外径	mm	294		294		294		294	
电枢	内径	mm	80		80		80		80	
电枢	长度	mm	145		145		145		145	
电枢	槽数		37	29	29	30	29	37	37	33
电枢	槽形		矩		矩		矩		矩	
电枢	每元件匝数		2	1	2	1	1	1	2	1
电枢	总匝数		444	290	580	300	290	222	444	198
电枢	支路数		2	2	2	4	2	2	2	2
电枢	QZ 线规 ϕ/mm		1.81×6.41 2.08×6.67	2-1.56×6.41 2-1.83×6.67	1.56×6.4 1.83×6.67	2-1.45×6.4 2-1.72×6.67	2-1.45×6.41 2-1.72×6.67	2-1.81×6.41 2-2.08×6.67	1.81×6.41 2.08×6.67	2-2.1×6.41 2-2.43×6.73
电枢	槽节距		1~10	1~8	1~8	1~8	1~8	1~10	1~10	1~9
换向器	外径	mm	200		200		200		200	
换向器	长度	mm	90	120	90	180	120	150	90	180
换向器	换向片数		110	145	145	150	145	111	111	99
换向器	换向器节距		1~56	1~73	1~73	±1	1~73	1~56	1~56	1~50
换向器	每杆电刷数		2	3	2	5	3	4	2	5
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		16×25		16×25		16×25		16×25	
主极	极数		4		4		4		4	
主极	极身宽度/mm		106		106		106		106	
主极	极长/mm		145		145		145		145	
主极	气隙/mm		2.5		2.5		2.5		2.5	
主极	每极匝数	串	2	1	2	2	4	4	7	
主极	每极匝数	并	1080	620	1000	470	920	460	920	670
主极	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同							
主极	QZ 线规 ϕ/mm	并	1.16/1.27	1.56/1.69	1.16/1.27	1.45/1.56	1.04/1.15	1.45/1.56	1.04/1.51	1.4/1.51
主极	并励绕组额定励磁电流/A		3.36	5.3	3.394	5.72	2.9	5.51	2.81	3.94
换向极	极数		4		4		4		4	
换向极	极身长度/mm		115		115		115		115	
换向极	极宽/mm		40		40		40		40	
换向极	气隙/mm		5		5		5		5	
换向极	每极匝数		35	23	44	11	23	18	35	16
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2.1×19.5 3.28×19.5		1.56×19.5 6.5×19.5		3.28×19.5 4.4×19.5		2.1×19.5 4.4×19.5	
绕组用铜重	电枢/kg		20.6	23.1	23.1	22.2	21.4	20.6	20.6	20.8
绕组用铜重	并励/kg		24.8	26	22.8	16.3	16.5	16.1	16.65	21.7

（续）

机座号(序号)			13　14	15　16	17
功率/kW			40　48	48　26	26
电压/V			220/320　115	230　115	230
电流/A			148/125　418	209　226	113
额定转速/(r/min)			1450　1450	1450　960	960
励磁方式			并　他	他	他
电枢	外径	mm	294	294	294
	内径	mm	80	80	80
	长度	mm	145	145	145
	槽数		33　30	29　37	37
	槽形		矩	矩	矩
	每元件匝数		2　1	1　1	2
	总匝数		396　300	290　222	444
	支路数		2　4	2　2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2.1×6.41　2-1.45×6.41 2.43×6.73　2-1.72×6.67	2-1.45×6.41　2-1.81×6.41 2-1.72×6.67　2-2.08×6.67	1.81×6.4/2.08×6.67
	槽节距		1~9　1~9	1~9　1~10	1~10
换向器	外径	mm	700	200	200
	长度	mm	120　180	120　150	90
	换向片数		99　150	145　111	111
	换向器节距		1~50　±1	1~73　1~56	1~56
	每杆电刷数		3　5	3　4	2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		16×25	16×25	16×25
主极	极数		4	4	4
	极身宽度/mm		106	106	106
	极长/mm		145	145	145
	气隙/mm		2.5	2.5	2.5
	每极匝数	串			
		并	1320　460	920　460	920
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同		
		并	1.0/　1.68/ 1.11　1.92	1.20/　1.68/ 1.31　1.92	1.20/1.31
	并励绕组额定励磁电流/A		1.99　7.54	3.77　7.46	3.64
换向极	极数		4	4	4
	极身长度/mm		115	115	115
	极宽/mm		40	40	40
	气隙/mm		5	5	5
	每极匝数		31　11	23　18	35
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2.26×19.5 6.5×19.5	3.28×19.5 4.4×19.5	2.1×19.5
绕组用铜重	电枢/kg		20.8　22.2	21.4　20.6	20.6
	并励/kg		22　21.75	22.1　21.75	22.1

（续）

部件	项目	单位	Z2-92 1	2	3	4	5	6	7	8
机座号（序号）			1	2	3	4	5	6	7	8
功率/kW			75	40	40	30	30	22	22	67
电压/V			220	110	220	110	220	110	220	230
电流/A			385	423	210	323	160	242.5	119.7	291
额定转速/（r/min）			1500	1000	1000	750	750	600	600	1450
励磁方式			并		并		并		并	复
电枢	外径	mm	294		294		294		294	
电枢	内径	mm	80		80		80		80	
电枢	长度	mm	185		185		185		185	
电枢	槽数		29	34	29	29	29	37	37	37
电枢	槽形		矩		矩		矩		矩	
电枢	每元件匝数		1	1	1	1	2	1	2	1
电枢	总匝数		174	272	290	174	348	222	444	222
电枢	支路数		2	4	2	2	2	2	2	2
电枢	QZ 线规 ϕ/mm		2-2.63×6.41 2-2.96×6.73	2-1.56×6.41 2-1.83×6.67	2-1.56×6.41 2-1.83×6.67	2-2.63×6.4 2-2.96×6.73	2.63×6.41 2.95×6.73	2-1.96×6.41 2-2.22×6.67	1.95×6.41 2.22×6.67	2-1.95×6.41 2-2.22×6.67
电枢	槽节距		1~8	1~9	1~8	1~8	1~8	1~10	1~10	1~10
换向器	外径	mm	200		200		200		200	
换向器	长度	mm	180	180	120	150	90	120	90	150
换向器	换向片数		87	136	145	87	87	111	111	111
换向器	换向器节距		1~44	±1	1~73	1~44	1~44	1~56	1~56	1~56
换向器	每杆电刷数		5	5	3	4	2	3	2	4
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）		16×25		16×25		16×25		16×25	
主极	极数		4		4		4		4	
主极	极身宽度/mm		106		106		106		106	
主极	极长/mm		185		185		185		185	
主极	气隙/mm		2.5		2.5		2.5		2.5	
主极	每极匝数	串	2	2	3	2	4	2	4	3
主极	每极匝数	并	860	520	900	520	940	520	980	940
主极	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同							
主极	QZ 线规 ϕ/mm	并	1.25/ 1.36	1.56/ 1.67	1.08/ 1.19	1.68/ 1.92	1.20/ 1.31	1.68/ 1.92	1.16/ 1.27	1.20/ 1.31
主极	并励绕组额定励磁电流/A		4.46	5.67	3.17	6.3	3.74	6.14	3.37	3.3
换向极	极数		4		4		4		4	
换向极	极身长度/mm		155		155		155		155	
换向极	极宽/mm		40		40		40		40	
换向极	气隙/mm		5		5		5		5	
换向极	每极匝数		14	11	23	14	24	18	35	18
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		5.1×19.5	6.5×19.5	3.28×19.5	5.1×19.5	2.83×19.5	3.8×19.5	2.1×19.5	4.1×19.5
绕组用铜重	电枢/kg		25.1	23.5	—	25.1	25.1	24.1	24.1	24.1
绕组用铜重	并励/kg		25.8	24.4	19.8	29.1	26.3	29.1	25.45	26.3

（续）

机座号(序号)			9	10	11	12	13	14
功率/kW			35	35	55	55	67	35
电压/V			115	230	110/160	220/320	230	115
电流/A			304	152	407	203.5	291	304
额定转速/(r/min)			960	960	1450	1450	1450	960
励磁方式			复		并		他	
电枢	外径	mm	294		294		294	
	内径	mm	80		80		80	
	长度	mm	185		185		185	
	槽数		29	29	30	29	37	29
	槽形		矩		矩		矩	
	每元件匝数		1	2	1	1	1	1
	总匝数		174	348	300	290	222	174
	支路数		2	2	4	2	2	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2－2.44×6.41 2－2.77×6.73	2.44×6.41 2.77×6.73	2－1.45×6.41 2－1.72×6.67	2－1.45×6.41 2－1.72×6.67	2－1.95×6.41 2.22×6.67	2－2.44×6.41 2－2.77×6.73
	槽节距		1～8	1～8	1～8	1～8	1～10	1～8
换向器	外径	mm	200		200		200	
	长度	mm	150	90	180	120	150	150
	换向片数		87	87	150	145	111	87
	换向器节距		1～44	1～44	±1	1～73	1～56	1～44
	每杆电刷数		4	2	5	3	4	4
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		16×25		16×25		16×25	
主极	极数		4		4		4	
	极身宽度/mm		106		106		106	
	极长/mm		185		185		185	
	气隙/mm		2.5		2.5		2.5	
	每极匝数	串	3	5				
		并	520	980	580	1240	780	460
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同					
		并	1.56/ 1.67	1.16/ 1.27	1.56/ 1.67	1.16/ 1.27	1.35/ 1.46	2－1.25/ 2－1.36
	并励绕组额定励磁电流/A		4.96	2.73	5/6.9	2.36/ 3.29	4.98	7.54
换向极	极数		4		4		4	
	极身长度/mm		155		155		155	
	极宽/mm		40		40		40	
	气隙/mm		5		5		5	
	每极匝数		14	28	12	23	18	14
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		5.1×19.5 2.44×19.5		6.5×19.5 3.28×19.5		4.1×19.5 5.1×19.5	
绕组用铜重	电枢/kg		23.2	23.2	24.1	22.8	24.1	23.2
	并励/kg		24.4	25.5	26.8	32.6	27	27.4

（续）

机座号(序号)	15	Z2-101 1	2	3	4	5	6
功率/kW	35	100	55	40	40	30	30
电压/V	230	220	220	110	220	110	220
电流/A	152	511	285.5	425	212	324.4	161.5
额定转速/(r/min)	960	1500	1000	750	750	600	600
励磁方式	他	并		并		并	
电枢 外径/mm	294	327		327		327	
电枢 内径/mm	80	95		95		95	
电枢 长度/mm	85	195		195		195	
电枢 槽数	29	34	37	34	34	31	31
电枢 槽形	矩	矩		矩		矩	
电枢 每元件匝数	2	1	1	1	1	1	2
电枢 总匝数	348	272	222	272	270	186	372
电枢 支路数	2	4	2	4	2	2	2
电枢 QZ线规 ϕ/mm	2.44×6.4/ 2.77×6.73	2-1.68×6.41 2-2.0×6.72	2-1.65×6.41 2-2.28×6.73	2-1.68×6.41 2-2.0×6.72	2-1.68×6.41 2-2.0×6.72	2-2.83×6.41 2-3.2×6.77	2.83×6.41 3.2×6.77
电枢 槽节距	1~8	1~9	1~10	1~9	1~9	1~9	1~9
换向器 外径/mm	200	230		230		230	
换向器 长度/mm	90	185	110	145	110	145	110
换向器 换向片数	87	136	111	136	135	93	93
换向器 换向器节距	1~44	±1	1~56	±1	1~68	1~47	1~47
换向器 每杆电刷数	2	4	2	3	2	3	2
换向器 电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)	16×25	20×32		20×32		20×32	
主极 极数	4	4		4		4	
主极 极身宽度/mm	106	128		128		128	
主极 极长/mm	185	195		195		195	
主极 气隙/mm	2.5	2.5		2.5		2.5	
主极 每极匝数 串		1.5	2	1	2	1	2
主极 每极匝数 并	800	760	820	440	880	480	950
主极 QZ线规 ϕ/mm 串	与换向极相同						
主极 QZ线规 ϕ/mm 并	1.20/1.31	1.40/ 1.51	1.16/ 1.26	2-1.35/ 2-1.46	1.40/ 1.51	1.68/ 1.92	1.20/ 1.30
主极 并励绕组额定励磁电流/A	4.22	5.43	3.60	8.75	4.63	6.665	3.42
换向极 极数	4	4		4		4	
换向极 极身长度/mm	155	160		160		160	
换向极 极宽/mm	40	45		45		45	
换向极 气隙/mm	5	5		5		5	
换向极 每极匝数	28	10	16	10	20	14	27
换向极 QZ或SBECB线规 ϕ/mm	2.44×19.5	2-3.28×19.5	3.8×19.5	2-3.05×19.5	3.05×19.5	2-2.63×19.5	2.63×19.5
绕组用铜重 电枢/kg	23.2	27.8	26.35	27.8	27.8	31.6	31.6
绕组用铜重 并励/kg	21.5	31.65	22.6	34.2	36.9	28.4	28.4

（续）

	机座号（序号）		7　　8	9　　10	11　　12
	功率/kW		90　　48	48　　75	90　　48
	电压/V		230　　115	230　220/320	230　　115
	电流/A		391　　418	209　　278	391　　418
	额定转速/（r/min）		1450　　960	960　　1450	1450　　960
	励　磁　方　式		复	复　　并	他
电枢	外径	mm	327	327	327
	内径	mm	95	95	95
	长度	mm	195	195	195
	槽　数		31　　34	34　　37	31　　34
	槽　形		矩	矩	矩
	每元件匝数		1　　1	1　　1	1　　1
	总　匝　数		186　　272	270　　222	186　　272
	支路数		2　　4	2　　2	2　　4
	QZ 线规 ϕ/mm		2－2.83×6.41　2－1.68×6.41 2－3.2×6.77　2－2.0×6.72	2－1.68×6.41　2－1.95×6.41 2－2.0×6.72　2－2.28×6.73	2－2.83×6.41　2－1.68×6.41 2－2.28×6.73　2－2.0×6.72
	槽　节　距		1～9　　1～9	1～9　　1～10	1～9　　1～9
换向器	外径	mm	230	230	230
	长度	mm	145　　145	110　　110	145　　145
	换　向　片　数		93　　136	135　　111	93　　136
	换向器节距		1～47　　±1	1～68　　1～56	1～47　　±1
	每杆电刷数		3　　3	2　　2	3　　3
	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）		20×32	20×32	20×32
主极	极　　数		4	4	4
	极身宽度/mm		128	128	128
	极长/mm		195	195	195
	气隙/mm		2.5	2.5	2.5
	每极匝数	串	2.5　　2	3.5	
		并	830　　390	780　　1060	780　　400
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同		
		并	1.16/　　1.68/ 1.26　　1.88	1.20/　　1.20/ 1.30　　1.30	1.30/　　2－1.35/ 1.41　　2－1.46
	并励绕组额定励磁电流/A		3.265　　7.23	3.705　　2.895/ 4.05	4.56　　9.05
换向极	极　　数		4	4	4
	极身长度/mm		160	160	160
	极　宽/mm		45	45	45
	气　　隙/mm		5	5	5
	每　极　匝　数		14　　10	20　　16	14　　10
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		5.1×19.5 2－2.83×19.5	3.05×19.5 3.53×19.5	5.1×19.5 2－2.83×19.5
绕组用铜重	电　　枢/kg		31.6　　27.8	27.8　　26.35	31.6　　27.8
	并　　励/kg		23.15　　22.6	23.2　　32	27.1　　30.3

（续）

机座号（序号）			13	Z2-102					
				1	2	3	4	5	6
功率/kW			48	125	75	55	40	40	115
电压/V			230	220	220	220	110	220	230
电流/A			209	635	385	289	431	214	500
额定转速/(r/min)			960	1500	1000	750	600	600	1450
励磁方式			他	并		并		并	复
电枢	外径	mm	327	327		327		327	
电枢	内径	mm	95	95		95		95	
电枢	长度	mm	195	240		240		240	
电枢	槽数		34	34	31	37	34	34	34
电枢	槽形		矩	矩		矩		矩	
电枢	每元件匝数		1	1	1	1	1	1	1
电枢	总匝数		270	204	186	222	272	270	272
电枢	支路数		2	4	2	2	4	2	4
电枢	QZ线规 ϕ/mm		2-1.68×6.4/ 2-2.0×6.72	2-1.95×6.41 2-2.28×6.73	2-1.68×6.41 2-3.2×6.67	2-1.95×6.41 2-2.38×6.73	2-1.68×6.41 2-2.0×6.72	2-1.68×6.41 2-2.0×6.72	2-1.68×6.72 2-2.0×6.72
电枢	槽节距		1~9	1~9	1~9	1~10	1~9	1~9	1~9
换向器	外径	mm	230	230		230		230	
换向器	长度	mm	110	185	145	110	145	110	185
换向器	换向片数		135	102	93	111	136	135	136
换向器	换向器节距		1~68	±1	1~47	1~56	±1	1~65	±1
换向器	每杆电刷数		2	5	3	2	3	2	4
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		20×32	20×32		20×32		20×32	
主极	极数		4	4		4		4	
主极	极身宽度/mm		128	128		128		128	
主极	极长/mm		195	240		240		240	
主极	气隙/mm		2.5	2.5		2.5		2.5	
主极	每极匝数	串		1	1.5	1.5	1	2	2.5
主极	每极匝数	并	820	680	740	810	418	792	648
主极	QZ线规 ϕ/mm	串	与换向极相同						
主极	QZ线规 ϕ/mm	并	1.30/1.41	2-1.16/ 2-1.26	1.30/ 1.41	1.40/ 1.51	2-1.45/ 2-1.56	1.45/ 1.56	1.40/ 1.51
主极	并励绕组额定励磁电流/A		4.36	7.18	4.31	4.82	9.64	5.28	5.05
换向极	极数		4	4		4		4	
换向极	极身长度/mm		160	205		205		205	
换向极	极宽/mm		45	45		45		45	
换向极	气隙/mm		5	5		5		5	
换向极	每极匝数		20	8	14	16	10	20	10
换向极	QZ或SBECB线规 ϕ/mm		3.05×19.5	2-3.8×19.5	5.1×19.5	4.1×19.5	2-3.53×19.5	3.53×19.5	2-3.28×19.5
绕组用铜重	电枢/kg		27.8	26.25	34.25	28.5	30.1	29.9	30.1
绕组用铜重	并励/kg		28.65	44.4	29.2	37.6	41.9	39.5	30

（续）

机座号(序号)			7	8	9	10	11	12
功率/kW			67	67	100	115	67	67
电压/V			115	230	220/320	230	115	230
电流/A			582	291	370.5	500	582	291
额定转速/(r/min)			960	960	1450	1450	960	960
励磁方式			复		并	他	他	
电枢	外径	mm	327		327		327	327
	内径	mm	95		95		95	
	长度	mm	240		240		240	
	槽数		34	34	31	34	34	34
	槽形		矩		矩		矩	
	每元件匝数		1	1	1	1	1	1
	总匝数		204	202	186	272	204	202
	支路数		4	2	2	4	4	2
	QZ 线规 ϕ/mm		2-1.95×6.41 2-2.28×6.73	2-1.96×6.41 2-2.28×6.73	2-2.83×6.41 2-3.2×6.77	2-1.68×6.41 2-2.00×6.72	2-1.95×6.31 米 2-2.28×6.73 米	2-1.95×6.41 2-2.28×6.73
	槽节距		1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9
换向器	外径	mm	230		230		230	
	长度	mm	185	110	145	185	185	110
	换向片数		102	101	93	136	102	101
	换向器节距		±1	1~51	1~47	±1	±1	1~51
	每杆电刷数		4	2	3	4	4	2
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		20×32		20×32		20×32	
主极	极数		4		4		4	
	极身宽度/mm		128		128		128	
	极长/mm		240		240		240	
	气隙/mm		2.5		2.5		2.5	
	每极匝数	串	1.5	2.5				
		并	360	720	980	660	370	740
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同					
		并	2-1.35/ 2-1.46	1.40/ 1.51	1.30/ 1.41	1.56/ 1.67	2-1.56/ 2-1.67	1.56/ 1.67
	并励绕组额定励磁电流/A		9.06	4.7	3.245/ 4.5	6.55	11.06	5.53
换向极	极数		4		4		4	
	极身长度/mm		205		205		205	
	极宽/mm		45		45		45	
	气隙/mm		5		5		5	
	每极匝数		8	15	14	10	8	15
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2-4.1×19.5	4.1×19.5	4.7×19.5	2-3.28×19.5	2-4.1×19.5	4.1×19.5
绕组用铜重	电枢/kg		26.25	26.25	34.25	30.1	26.25	26.25
	并励/kg		30.9	33.3	39.05	35.55	42.7	42.7

（续）

机座号(序号)			Z2-111 1	2	3	4	5	6	7	8
功率/kW			160	100	75	55	145	90	125	155
电压/V			220	220	220	220	230	230	220/320	440
电流/A			810	511	387	289	631	391	463/391	392
额定转速/(r/min)			1500	1000	750	600	1450	960	1450	1500
励磁方式			并		并		复	复	并	
电枢	外径	mm	368		368		368		368	
	内径	mm	110		110		110		110	
	长度	mm	230		230		230		230	
	槽数		50	50	35	43	42	35	42	50
	槽形		矩		矩		矩		矩	
	每元件匝数		1	1	1	1	1	1	1	1
	总匝数		200	300	210	258	252	210	336	400
	支路数		4	4	2	2	4	2	4	4
	QZ线规 ϕ/mm		2-2.63×6.41 2-1.68×6.73	2-1.68×4.41 2-1.95×6.67	2-3.05×6.41 2-3.38×6.74	2-2.26×6.41 2-2.59×6.70	2-2.26×6.41 2-2.59×6.3	2-3.05×6.41 2-3.38×6.73	2-1.68×6.41 2-1.95×5.73	2-1.25×6.41 2-1.52×6.67
	槽节距		1~13	1~13	1~10	1~12	1~11	1~10	1~11	1~13
换向器	外径	mm	250		250		250		250	
	长度	mm	225	150	115	115	90	150	150	150
	换向片数		100	150	105	129	126	105	168	200
	换向器节距		±1	±1	1~53	1~65	±1	1~53	±1	±1
	每杆电刷数		5	3	2	2	4	3	3	3
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		25×32		25×32		25×32		25×32	
主极	极数		4		4		4		4	
	极身宽度/mm		145		145		145		145	
	极长/mm		230		230		230		230	
	气隙/mm		3		3		3		3	
	每极匝数	串	1.5	1.5	1.5	2	1.5	2.5		3.5
	每极匝数	并	660	720	780	840	600	680	940	1400
	QZ线规 ϕ/mm	串	与换向极相同							
	QZ线规 ϕ/mm	并	1.56/ 1.68	1.56/ 1.68	1.56/ 1.68	1.35/ 1.68	1.56/ 1.68	1.35/ 1.46	1.40/ 1.51	1.08/ 1.19
	并励绕组额定励磁电流/A		6.72	6.42	5.58	5.315	6.48	4.56	3.83/ 5.42	3.12
换向极	极数		4		4		4		4	
	极身长度/mm		195		195		195		195	
	极宽/mm		55		55		55		55	
	气隙/mm		6		6		6		6	
	每极匝数		7	11	16	18	9	16	12	14
	QZ或SBECB线规 ϕ/mm		2-5.1×19.5 2-3.53×19.5		5.5×19.5 4.7×19.5		2-4.1×19.5 5.5×19.5		6×19.5 5.1×19.5	
绕组用铜重	电枢/kg		36	35.1	44	39.86	38.9	44	39.3	34.4
	并励/kg		39.8	43.1	47.1	51.6	35.8	29.7	44.6	41.3

（续）

机座号(序号)			9	10	11	12
功率/kW			100	145	145	90
电压/V			440	460	230	230
电流/A			256	315.5	631	391
额定转速/(r/min)			1000	1450	1450	960
励磁方式			并	并	他	
电枢	外径	mm	368		368	
	内径	mm	110		110	
	长度	mm	230		230	
	槽数		49	43	42	35
	槽形		矩		矩	
	每元件匝数		1	1	1	1
	总匝数		294	258	252	210
	支路数		2	2	4	2
	QZ 线规 φ/mm		2-1.68×6.41 2-1.95×6.64	2-2.26×6.41 2-2.59×6.73	2-2.26×6.41 2-2.59×6.73	2-3.05×6.41 2-3.38×6.73
	槽节距		1~12	1~12	1~11	1~10
换向器	外径	mm	250		250	
	长度	mm	115	115	190	150
	换向片数		147	129	126	105
	换向器节距		1~74	1~65	±1	1~53
	每杆电刷数		2	2	4	3
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		25×32		25×32	
主极	极数		4		4	
	极身宽度/mm		145		145	
	极长/mm		230		230	
	气隙/mm		3		3	
	每极匝数	串	3.5	3.5		
		并	1360	1260	660	660
	QZ 线规 φ/mm	串	与换向极相同			
		并	1.16/ 1.27	1.04/ 1.15	1.68/ 1.92	1.56/ 1.68
	并励绕组额定励磁电流/A		3.47	2.855	7.31	6.115
换向极	极数		4		4	
	极身长度/mm		195		195	
	极宽/mm		55		55	
	气隙/mm		6		6	
	每极匝数		21	18	9	16
	QZ 或 SBECB 线规 φ/mm		3.53×19.5	4.1×19.5	2-4.1×19.5	5.5×19.5
绕组用铜重	电枢/kg		34.45	39.9	38.9	44
	并励/kg		46.1	32.9	46	38.3

（续）

机座号（序号）			13	Z2-112 1	2	3	4
功率/kW			145	200	125	180	115
电压/V			460	220	220	230	230
电流/A			315.5	1005	632	783	500
额定转速/(r/min)			1450	1500	1000	1450	960
励　磁　方　式			他	并		复	
电枢	外径	mm	368	368		368	
	内径	mm	110	110		110	
	长度	mm	230	280		280	
	槽　数		43	42	42	50	50
	槽　形		矩	矩		矩	
	每元件匝数		1	1	1	1	1
	总　匝　数		258	168	252	200	300
	支路数		2	4	4	4	4
	QZ 线规 ϕ/mm		2－2.26×6.4/ 2－2.59×6.73	2－3.53×6.41 2－3.26×6.8	2－2.26×6.41 2－2.59×6.73	2－2.63×6.41 2－2.96×6.73	2－1.68×6.41 2－0.95×6.73
	槽　节　距		1～12	1～11	1～11	1～13	1～13
换向器	外径	mm	250	250		250	
	长度	mm	115	225	190	225	150
	换　向　片　数		129	84	126	100	150
	换向器节距		1～65	±1	±1	±1	±1
	每杆电刷数		2	5	4	5	3
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		25×32	25×32		25×32	
主极	极　数		4	4		4	
	极身宽度/mm		145	145		145	
	极长/mm		230	280		280	
	气隙/mm		3	3		3	
	每极匝数	串				1	2
		并	620	620	660	580	580
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同				
		并	1.68/1.92	1.68/ 1.92	1.68/ 1.92	1.68/ 1.92	2－1.25/ 2－1.36
	并励绕组额定励磁电流/A		7.6	7.78	7.0	7.45	7.48
换向极	极　数		4	4		4	
	极身长度/mm		195	245		245	
	极　宽/mm		55	55		55	
	气　隙/mm		6	6		6	
	每　极　匝　数		18	6	9	7	11
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		4.1×19.5	2－6.5×19.5	2－4.4×19.5	2－5.1×19.5	2－3.53×19.5
绕组用铜重	电　枢/kg		39.9	44.2	42.0	38.85	38.0
	并　励/kg		42.8	48.8	52.5	45.4	50.8

（续）

机座号(序号)			5	6	7	8
功率/kW			160	195	125	175
电压/V			220/320	440	440	460
电流/A			593/500	490	316	380.5
额定转速/(r/min)			1450	1500	1000	1450
励磁方式			并		并	复
电枢	外径	mm	368		368	
	内径	mm	110		110	
	长度	mm	280		280	
	槽数		42	42	43	50
	槽形		矩		矩	
	每元件匝数		1	1	1	1
	总匝数		252	336	258	400
	支路数		4	4	4	4
	QZ 线规 ϕ/mm		2-1.95×6.41 2-2.29×6.74	2-1.68×6.41 2-1.95×6.73	2-2.26×6.41 2-2.59×6.73	2-1.25×6.41 2-1.95×6.73
	槽节距		1~11	1~11	1~12	1~13
换向器	外径	mm	250		250	
	长度	mm	190	150	115	152
	换向片数		126	168	129	200
	换向器节距		±1	±1	1~65	±1
	每杆电刷数		4	3	2	3
	电刷规格型号尺寸 DS-4($b_b \times L_b$)		25×32		25×32	
主极	极数		4		4	
	极身宽度/mm		145		145	
	极长/mm		280		280	
	气隙/mm		3		3	
	每极匝数	串	2.5		3	2.5
	每极匝数	并	860	1260	1320	1140
	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同			
	QZ 线规 ϕ/mm	并	2-1.16/ 2-1.27	1.16/ 1.27	1.16/ 1.27	1.16/ 1.27
	并励绕组额定励磁电流/A		4.7/6.81	3.68	3.43	3.57
换向极	极数		4		4	
	极身长度/mm		245		245	
	极宽/mm		55		55	
	气隙/mm		6		6	
	每极匝数		9	12	18	14
	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		2-3.8×19.5	1.6×19.5	4.4×19.5	5.1×19.5
绕组用铜重	电枢/kg		37	42.5	43.0	37.1
	并励/kg		65	47.2	49.3	41.6

（续）

机座号（序号）			9　　10	11　　12	13
功率/kW			115　　180	115　　175	115
电压/V			460　　230	230　　460	460
电流/A			250　　783	500　　380.5	250
额定转速/（r/min）			960　　1450	960　　1450	960
励磁方式			复　　他	他	他
电枢	外径	mm	368	368	368
电枢	内径	mm	110	110	110
电枢	长度	mm	280	280	280
电枢	槽数		49　　50	50　　50	49
电枢	槽形		矩	矩	矩
电枢	每元件匝数		1　　1	1　　1	1
电枢	总匝数		294　　200	300　　400	294
电枢	支路数		2　　4	4　　4	2
电枢	QZ 线规 ϕ/mm		2-1.68×6.41　　2-2.63×6.41 2-1.95×6.73　　2-2.96×6.73	2-1.68×6.41　　2-1.25×6.41 2-1.95×6.73　　2-1.59×6.73	2-1.68×6.4 2-1.95×6.73
电枢	槽节距		1~13　　1~13	1~13　　1~13	1~13
换向器	外径	mm	250	250	250
换向器	长度	mm	115　　225	150　　150	115
换向器	换向片数		147　　100	150　　200	147
换向器	换向器节距		1~74　　±1	±1　　±1	1~74
换向器	每杆电刷数		2　　5	3　　3	2
换向器	电刷规格型号尺寸 DS-4（$b_b \times L_b$）		25×32	25×32	25×32
主极	极数		4	4	4
主极	极身宽度/mm		145	145	145
主极	极长/mm		280	280	280
主极	气隙/mm		3	3	3
主极	每极匝数	串	4.5		
主极	每极匝数	并	1220　　600	600　　600	600
主极	QZ 线规 ϕ/mm	串	与换向极相同		
主极	QZ 线规 ϕ/mm	并	1.20/　　2-1.30/ 1.31　　2-1.41	2-1.35/　　2-1.25/ 2-1.46　　2-1.36	2-1.35/2-1.46
主极	并励绕组额定励磁电流/A		3.52　　8.48	8.8　　8.2	9.0
换向极	极数		4	4	4
换向极	极身长度/mm		245	245	245
换向极	极宽/mm		55	55	55
换向极	气隙/mm		6	6	6
换向极	每极匝数		21　　7	11　　14	21
换向极	QZ 或 SBECB 线规 ϕ/mm		3.53×19.5　　2-5.1×19.5	2-3.53×19.5 5.1×19.5	3.53×19.5
绕组用铜重	电枢/kg		37.15　　38.85	38.0　　37.1	37.15
绕组用铜重	并励/kg		49.4　　55.3	60.5　　51.0	60.5

附表 1-2　Z3 系列直流电动机技术数据

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ线规/mm 串	主极 QZ线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-11	0.55	110	7.14	3000	并	70	55	14	30/4	840	2	ϕ0.80	56	1	8×16	2	0.6/1.8		2000		ϕ0.35	0.503	1	1.2	152	ϕ1.30	13.98		0.002
	0.55	160	4.5	3000	他				11	1232		ϕ0.64							3432		ϕ0.27	0.289			220	ϕ1.08	30.1	125.9	
	0.55	220	3.52	3000	并				15	1680		ϕ0.55							3800		ϕ0.25	0.279			294	ϕ0.93	55.91		
	0.25	110	3.63	1500	并				14	1568		ϕ0.57							2200		ϕ0.33	0.418			292	ϕ0.90	48.7		
	0.25	160	2.2	1500	他				21	2352		ϕ0.47							3160		ϕ0.25	0.272			420	ϕ0.80	101.9	218.1	
	0.25	220	1.85	1500	并				28	3136		ϕ0.41							3800		ϕ0.25	0.256			554	ϕ0.64	194.9		
Z3-12	0.75	110	9.2	3000	并	70	75	14	23/4	644	2	ϕ0.90	56	1	8×16	2	0.6/1.8		1800		ϕ0.38	0.535	1	1.2	116	ϕ1.5	11.2		0.0025
	0.75	160	5.9	3000	他				33/4	924		ϕ0.72							3140		ϕ0.29	0.306			164	ϕ1.25	23.6	95.4	
	0.75	220	4.55	3000	并				46/4	1288		ϕ0.64							3600		ϕ0.27	0.273			222	ϕ1.04	44.81		
	0.37	110	5.17	1500	并				42/4	1176		ϕ0.67							1800		ϕ0.38	0.537			212	ϕ1.08	37.36		
	0.37	160	3.08	1500	他				16	1792		ϕ0.53							3120		ϕ0.27	0.272			315	ϕ0.90	86.74	141.3	
	0.37	220	2.57	1500	并				21	2352		ϕ0.47							3600		ϕ0.27	0.269			410	ϕ0.77	149.4		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ线规/mm 串	主极 QZ线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-21	1.1	110	13.2	3000	并	83	70	18	4	576	2	ϕ1.12	72	1	8×16	2	0.6/2.4		2000		ϕ0.38	0.516	1	1.2	100	ϕ1.81	8.5		0.0055
	1.1	160	8.65	3000	他				23/4	828		ϕ0.96							3300		ϕ0.31	0.34			141	ϕ1.5	17.57	63.63	
	1.1	220	6.5	3000	并				8	1152		ϕ0.80							4000		ϕ0.27	0.265			194	ϕ1.25	34		
	0.55	110	7.1	1500	并				29/4	1044		ϕ0.83							2200		ϕ0.41	0.5			183	ϕ1.30	27.93		
	0.55	160	4.44	1500	他				11	1584		ϕ0.69							3500		ϕ0.29	0.29			268	ϕ1.12	61.4	96.6	
	0.55	220	3.52	1500	并				29/2	2088		ϕ0.59							4000		ϕ0.29	0.285			352	ϕ0.93	111.71		
Z3-22	1.5	110	17.7	3000	并	83	95	18	3	432	2	ϕ1.3	72	1	8×16	2	0.6/2.4		1600		ϕ0.41	0.65	1	1.2	74	ϕ2.1	6.49		0.0065
	1.5	160	11.6	3000	他				18/4	648		ϕ1.08							2600		ϕ0.31	0.385			109	ϕ1.74	14.6	45.9	
	1.5	220	8.74	3000	并				6	864		ϕ0.93							3000		ϕ0.31	0.365			144	ϕ1.45	25.96		
	0.75	110	9.34	1500	并				22/4	792		ϕ0.96							1600		ϕ0.44	0.705			137	ϕ1.5	21.81		
	0.75	160	5.85	1500	他				8	1152		ϕ0.80							2700		ϕ0.33	0.419			195	ϕ1.20	46.15	73.85	
	0.75	220	4.64	1500	并				11	1584		ϕ0.67							3000		ϕ0.31	0.38			264	ϕ1.04	83.33		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ线规/mm 串	主极 QZ线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-22	0.37	110	5.17	1000	并	83	95	18	8	1152	2	ϕ0.77	72	1	8×16	2	0.6/2.4		1700		ϕ0.41	0.624	1	1.2	204	ϕ1.08	46.15		0.0065
	0.37	160	3	1000	他				46/4	1656		ϕ0.62							2700		ϕ0.33	0.406			286	ϕ0.86	95.36	138.64	
	0.37	220	2.54	1000	并				16	2304		ϕ0.53							3200		ϕ0.31	0.338			389	ϕ0.77	184.6		
Z3-31	*2.2	110	25.3	3000	并	106	65	18	3	450	2	ϕ1.5	75	1	10×12.5	4	0.6/2.4		1000		ϕ0.51	1.03	4	1.5	33	1.56×3.28	6.51		0.0123
	*2.2	160	16.8	3000	他			25	13/3	650		ϕ1.25							1800		ϕ0.41	0.601			47	1.25×3.28	14.65	27.15	
	*2.2	220	12.5	3000	并				19/3	950		ϕ1.08							2000		ϕ0.33	0.455			68	ϕ1.74	26.04		
	*1.1	110	13.15	1500	并				17/3	850		ϕ1.08							1140		ϕ0.51	0.872			63	ϕ1.81	21.88		
	*1.1	160	8.6	1500	他				8	1200		ϕ0.93							1900		ϕ0.41	0.593			86	ϕ1.56	46.3	34.2	
	1.1	220	6.54	1500	并		70	18	11	1584		ϕ0.80	72	2		2			3650		ϕ0.44	0.356	1		263	ϕ1.74	95.67		
	*0.55	110	7.04	1000	并			25	25/3	1250		ϕ0.90	75			4			1300		ϕ0.49	0.707	4		96	ϕ1.35	49.24		
	*0.55	160	4.5	1000	他				35/3	1750		ϕ0.77							2200		ϕ0.41	0.462			127	ϕ1.2	108.56	46.44	
	*0.55	220	3.5	1000	并				17	2550		ϕ0.64							2700		ϕ0.33	0.326			185	ϕ0.96	197		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ线规/mm 串	主极 QZ线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-32	*3	110	34.7	3000	并	106	90	25	7/3	350	2	2-φ1.25	75	1	10×12.5	4	0.6/2.4		880		φ0.53	1.03	4	1.5	26	1.08×6.4	4.97		0.0143
	*3	160	23	3000	他				10/3	500		φ1.45							1650		φ0.41	0.578			36	φ2.44	10.37	21.03	
	*3	220	17.1	3000	并				14/3	700		φ1.25							1800		φ0.38	0.508			50	φ2.02	19.88		
	*1.5	110	17.6	1500	并				13/3	650		φ1.30							950		φ0.53	0.953			48	φ2.26	17.73		
	*1.5	160	11.6	1500	他			18	6	900		φ1.08							1650		φ0.44	0.693	2		65	φ1.95	38.35	22.65	
	*1.5	220	8.68	1500	并		95		9	1296		φ0.90	72	2		2			3500		φ0.41	0.297	1		215	φ1.88	75.17		
	*0.75	110	9.4	1000	并	106	90	25	19/3	950	2	φ1.04	75	1	10×1.25	4	0.6/2.4		1100		φ0.53	0.8	4	1.5	72	φ1.56	41.48		0.0143
	*0.75	160	6	1000	他				9	1350		φ0.86							1950		φ0.41	0.487			98	φ1.35	84	35	
	*0.75	220	4.64	1000	并				38/3	1900		φ0.74							2200		φ0.38	0.407			136	φ1.08	153.4		
	*0.55	110	7.25	750	并				8	1200		φ0.96							1100		φ0.53	0.818			92	φ1.40	62.83		
	*0.55	160	4.55	750	他				34/3	1700		φ0.77							2000		φ0.41	0.458			127	φ1.16	135.6	21.45	
	*0.55	220	3.57	750	并				49/3	2450		φ0.67							2200		φ0.38	0.407			177	φ0.96	259.3		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	铁心长度 /mm	槽数	每元件匝数	总导体数	支路数	QZ线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	气隙 /mm	每极匝数 串	每极匝数 并	QZ线规 /mm 串	QZ线规 /mm 并	并励电流 /A	换向极 极数	气隙 /mm	每极匝数	QZ或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-33	*4	110	45.4	3000	并	106	130	25	5/3	250	2	2-φ1.45	75	2	10×12.5	4	0.6/2.4		720		φ0.57	1.188	4	1.5	18	1.35×6.4	3.02		0.0183
	*4	160	30.3	3000	他				7/3	350		2-φ1.20		1					1550		φ0.49	0.637			24	1.08×6.4	6.8	16.1	
	*4	220	22.4	3000	并				10/3	500		φ1.45							1400		φ0.41	0.625			35	1.35×3.28	14.19		
	*2.2	110	25	1500	并				3	450		φ1.56							700		φ0.62	1.4			33	1.56×3.28	12.09		
	*2.2	160	16.5	1500	他				13/3	650		φ1.30							1300		φ0.49	0.799			46	1.25×3.28	27.21	15.39	
	*2.2	220	12.6	1500	并			18	25/4	900		φ1.08	72	2		2			2600		φ0.53	0.512	1		148	1.35×3.28	52.48		
	*1.1	110	13.3	1000	并			25	13/3	650		φ1.25	75	1		4			860		φ0.62	1.12	4		49	φ1.95	27.21		
	*1.1	160	8.46	1000	他				19/3	950		φ1.04							1400		φ0.49	0.715			67	φ1.62	56.76	24.74	
	*1.1	220	6.6	1000	并				9	1350		φ0.86							1700		φ0.41	0.528			95	φ1.40	115		
	*0.75	110	9.4	750	并				17/3	850		φ1.08							850		φ0.59	1.092			65	φ1.62	48.37		
	*0.75	160	5.84	750	他				25/3	1250		φ0.90							1400		φ0.47	0.677			89	φ1.40	97.07	22.93	
	*0.75	220	4.64	750	并				35/3	1750		φ0.77							1650		φ0.41	0.545			125	φ1.16	19.35		

（续）

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径/mm	电枢 铁心长度/mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规/mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸/mm	主极 极数	主极 气隙/mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ线规/mm 串	主极 QZ线规/mm 并	主极 并励电流/A	换向极 极数	换向极 气隙/mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ或QZB线规/mm	电枢回路电感/μH	外接电感/μH	转动惯量/kg·m²
Z3-41	5.5	110	61.3	3000	并	120	95	25	5/3	250	2	3-φ1.40	75	3	10×12.5	4	0.7/3.5		660		φ0.67	2.04	4	2	19	1.68×6.4	0.66		0.025
	5.5	220	30.5	3000	并				10/3	500		2-φ1.20		2					1400		φ0.47	0.915			37	1.35×4.1	2.62		
	3	110	34.3	1500	并				3	450		2-φ1.25							780		φ0.72	1.97			34	1.56×4.1	2.13		
	3	160	22.1	1500	他				13/3	650		φ1.45		1					1200		φ0.55	1.33			49	1.08×4.1	4.44	27.36	
	3	220	17	1500	并				19/3	950		φ1.25							1400		φ0.47	0.967			70	φ2.02	9.48		
	1.5	110	18	1000	并				14/3	700		φ1.4							940		φ0.64	1.32			54	1.0×4.1	5.14		
	1.5	160	11.5	1000	他				7	1050		φ1.16							1500		φ0.47	0.785			79	φ1.81	11.57	49.43	
	1.5	220	8.9	1000	并				28/3	1400		φ1.0							1900		φ0.47	0.684			104	φ1.62	20.58		
	1.1	110	14.2	750	并				6	900		φ1.25							900		φ0.64	1.415			69	φ2.1	8.5		
	1.1	160	8.9	750	他				26/3	1300		φ1.0							1500		φ0.49	0.865			98	φ1.68	17.74	61.26	
	1.1	220	7	750	并				12	1800		φ0.86							1840		φ0.47	0.706			134	φ1.45	34.02		
	2.2	115	19.2	1450	复				13/3	650		φ1.45						18	720	1.08×4.1	φ0.67	1.43			49	1.08×4.1			

（续）

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径/mm	电枢 铁心长度/mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规/mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸/mm	主极 极数	主极 气隙/mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或QZB线规/mm 串	主极 QZ或QZB线规/mm 并	主极 并励电流/A	换向极 极数	换向极 气隙/mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ或QZB线规/mm	电枢回路电感/μH	外接电感/μH	转动惯量/kg·m²
Z3-41	2.2	230	9.6	1450	复	120	95	25	26/3	1300	2	φ1.0	75	1	10×12.5	4	0.7/3.5	36	1520	φ1.68	φ0.47	0.678	4	2	96	φ1.68			0.025
Z3-42	7.5	110	83	3000	并	120	125	25	4/3	200	2	3-φ1.56	75	3	10×12.5	4	0.7/3.5		600		φ0.69	2	4	2	15	2.26×6.4	0.55		0.033
	7.5	220	41.3	3000	并				8/3	400		2-φ1.35		2					1160		φ0.49	1.06			29	1.16×6.4	2.21		
	4	110	44.8	1500	并				7/3	350		2-φ1.45							620		φ0.77	2.46			26	1.25×6.4	1.69		
	4	160	29	1500	他				10/3	500		2-φ1.16		1					1120		φ0.62	1.43			37	1.45×4.1	3.45	20.75	
	4	220	22.3	1500	并				14/3	700		φ1.45							1300		φ0.57	1.205			52	1.08×4.1	6.77		
	2.2	110	25.8	1000	并				11/3	550		φ1.62							770		φ0.69	1.57			41	1.45×4.1	4.18		
	2.2	160	16.7	1000	他				16/3	800		φ1.35							1380		φ0.53	0.887			60	1.0×4.1	8.84	33.16	
	2.2	220	12.8	1000	并				22/3	1100		φ1.16							1620		φ0.51	0.778			81	φ1.95	16.72		
	1.5	110	18.8	750	并				14/3	700		φ1.45							720		φ0.72	1.79			53	1.16×4.1	6.78		
	1.5	160	11.8	750	他				20/3	1000		φ1.16							1200		φ0.55	1.11			75	φ1.95	13.81	45.69	
	1.5	220	9.25	750	并				28/3	1400		φ1.0							1400		φ0.51	0.932			103	φ1.68	27.08		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或QZB线规/mm 串	主极 QZ或QZB线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-42	3	115	26.2	1450	复	120	125	25	10/3	500	2	2-φ1.16	75	1	10×12.5	4	0.7/3.5	14	640	1.45×4.1	φ0.69	1.53	4	2	37	1.45×4.1			0.033
	3	230	13.1	1450	复				20/3	1000		φ1.16						30	1280	φ1.95	φ0.49	0.75			73	φ1.95			
Z3-51	10	220	54.8	3000	并	138	100	27	7/3	378	2	2-φ1.50	81	2	10×12.5	4	0.8/4		1250		φ0.57	1.425	4	2	27	1.56×5.9	1.61		0.053
	5.5	110	61	1500	并				7/3	378		2-φ1.56		3					670		φ0.74	2.3			28	2.1×5.9	1.61		
	5.5	220	30.3	1500	并				13/3	702		φ1.56		1					1300		φ0.59	1.5			51	1.16×5.1	5.54		
	5.5	440	14.4	1500	他				26/5	1404		φ1.12	135	1					1150		φ0.64	1.695			100	φ1.88	22.15		
	3	110	34.5	1000	并				10/3	540		2-φ1.25	81	2					980		φ0.77	1.608			40	1.35×5.9	3.28		
	3	160	22.4	1000	他				5	810		φ1.50		1					1450		φ0.55	1.02			59	1.08×5.1	7.37	24.03	
	3	220	17.2	1000	并				20/3	1080		φ1.25							1800		φ0.55	0.887			78	φ2.1	13.11		
	2.2	110	26.5	750	并				13/3	702		φ1.56							910		φ0.74	1.67			52	1.08×5.9	5.54		
	2.2	160	17.2	750	他				19/3	1026		φ1.30							1550		φ0.57	0.995			75	φ2.26	11.82	28.97	
	2.2	220	13	750	并				26/3	1404		φ1.12							1800		φ0.55	0.887			102	φ2.02	22.15		

（续）

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径/mm	电枢 铁心长度/mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规/mm	换向片数	每杆刷数	电刷 尺寸/mm	主极 极数	主极 气隙/mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或QZB线规/mm 串	主极 QZ或QZB线规/mm 并	主极 并励电流/A	换向极 极数	换向极 气隙/mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ或QZB线规/mm	电枢回路电感/μH	外接电感/μH	转动惯量/kg·m²
Z3-51	4.2	115	36.5	1450	复	138	100	27	3	486	2	2-ϕ1.30		2	10×12.5	4	0.8/4	14	710	1.35×5.9	ϕ0.77	1.84	4	2	36	1.35×5.9			0.053
	4.2	230	18.3	1450	复				6	972		ϕ1.30	81	1				28	1380	1.0×4.1	ϕ0.55	0.918			70	1.0×4.1			
Z3-52	13	220	70.7	3000	并	138	135	27	2	324		3-ϕ1.40		3	10×12.5	4	0.8/4		1000		ϕ0.53	1.3	4	2	23	2.1×5.9	1.59		0.065
	7.5	110	82.1	1500	并				5/3	270		3-ϕ1.50	81	3					540		ϕ0.86	3.3			20	2.44×5.9	1.11		
	7.5	220	40.8	1500	并				10/3	540		2-ϕ1.30	81	2					1100		ϕ0.64	1.67			39	1.56×5.1	4.42		
	7.5	440	19.5	1500	他				4	1080		2-ϕ0.90	135	1					960		ϕ0.67	1.94			77	ϕ2.26	17.69		
	4	110	45.2	1000	并				8/3	432		2-ϕ1.45	81	2					720		ϕ0.77	1.93			32	1.95×5.1	2.83		
	4	160	29.6	1000	他				4	648		ϕ1.68		1					1200		ϕ0.57	1.1			47	1.35×5.1	6.37	17.43	
	4	220	22.3	1000	并				5	810		ϕ1.45		1					1480		ϕ0.62	1.12			58	ϕ2.44	11.32		
	3	110	35.2	750	并				10/3	540		2-ϕ1.30	81	2					750		ϕ0.80	2.01			40	1.35×5.9	4.42		
	3	160	22.7	750	他				14/3	756		ϕ1.56		1					1340		ϕ0.67	1.28			55	1.16×5.1	8.67	22.33	
	3	220	17.4	750	并				20/3	1080		ϕ1.30		1					1560		ϕ0.59	1			78	ϕ2.26	17.69		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢							换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极							换向极				电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
						铁心外径 /mm	铁心长度 /mm	槽数	每元件匝数	总导体数	支路数	QZ线规 /mm				极数	气隙 /mm	每极匝数 串	每极匝数 并	QZ或QZB线规/mm 串	QZ或QZB线规/mm 并	并励电流 /A	极数	气隙 /mm	每极匝数	QZ或QZB线规 /mm			
Z3-52	2.2	110	26.7	600	并	138	135	27	4	648	2	φ1.68	81	1	10×12.5	4	0.8/4		750		φ0.83	2.11	4	2	48	1.35×5.1	6.37		0.065
	2.2	160	16.8	600	他				17/3	918		φ1.40		1					1240		φ0.67	1.42			67	φ2.44	12.78	29.12	
	2.2	220	13.3	600	并				8	1296		φ1.16		1					1470		φ0.59	1.08			94	φ2.02	25.48		
	6	115	52.2	1450	复				7/3	378		2-φ1.56		2				8	600	1.81×5.9	φ0.80	1.97			27	1.81×5.9			
	6	230	26.1	1450	复				14/3	756		φ1.56		1				16	1350	1.08×5.1	φ0.57	0.853			54	1.08×5.1			
Z3-61	17	220	92	3000	并	162	120	31	4/3	248		3-φ1.62	93	3	12.5×16		0.9/3.6		990		φ0.67	2.22		2.5	19	1.35×12.5	1.02		0.108
	10	110	108.2	1500	并				4/3	248		4-φ1.50	93	2					720		φ0.93	2.78			19	1.56×12.5	1.02		
	10	220	53.8	1500	并				8/3	496		2-φ1.50	93	1					1040		φ0.67	1.98			37	1.68×6.4	4.08		
	10	440	25.7	1500	他				16/3	992		2-φ1.12	93	2					1100		φ0.77	1.935			68	1.0×5.9	16.32		
	5.5	110	61.4	1000	并				2	372		2-φ1.74	93	1					720		φ0.90	2.56			28	2.26×6.4	2.29		
	5.5	220	30.3	1000	并				4	744		φ1.74	93						1360		φ0.64	1.4			56	1.25×5.9	9.18		
	5.5	440	14.5	1000	他				24/5	1488		φ1.20	135						1100		φ0.77	1.875			101	φ2.26	36.72		

（续）

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径/mm	电枢 铁心长度/mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规/mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸/mm	主极 极数	主极 气隙/mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ线规/mm 串	主极 QZ线规/mm 并	主极 并励电流/A	换向极 极数	换向极 气隙/mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ、TRB QZB线规/mm	电枢回路电感/μH	外接电感/μH	转动惯量/kg·m²
Z3-61	4	110	46.6	750	并	162	120	31	8/3	496	2	2-φ1.50	3	1	12.5×16	4	0.9/3.6		635		φ0.86	2.62	4	2.5	37	1.68×6.4	4.08		0.103
	4	160	30.2	750	他				11/3	682		2-φ1.25							1300		φ0.69	1.42			50	1.16×5.9	7.71	15.3	
	4	220	23	750	并				5	930		φ1.50							1230		φ0.69	1.7			69	1.0×5.9	14.34		
	3	110	35.9	600	并				3	558		2-φ1.35							790		φ1.0	2.71			42	1.35×6.4	5.16		
	3	160	23.3	600	他				14/3	868		2-φ1.12							1550		φ0.69	1.095			62	1.08×5.9	10.77	19.73	
	3	220	17.8	600	并				19/3	1178		φ1.35							1385		φ0.64	1.358			88	1.0×4.4	23		
	8.5	115	74	1450	复				5/3	310		4-φ1.30		2				10	650	1.25×12.5	φ0.96	2.39			23	1.25×12.5			
	8.5	230	37	1450	复				10/3	620		2-φ1.30		1				18	1100	1.35×6.4	φ0.64	1.43			46	1.35×6.4			
Z3-62	22	220	117.6	3000	并		165		1	186		4-φ1.62		3					810		φ0.74	2.5			14	1.45×12.5	0.79		0.125
	13	110	140	1500	并				1	186		4-φ1.68		3					500		φ1.04	3.83			14	1.95×12.5	0.79		
	13	220	69.5	1500	并				2	372		2-φ1.68		2					1000		φ0.72	1.96			27	1.81×6.4	3.16		
	13	440	33.3	1500	他				12/5	744		2-φ1.20	155	1					780		φ0.77	2.55			56	1.25×5.5	12.62		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或TBR、QZB线规 /mm 串	主极 QZ或TBR、QZB线规 /mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 QZ、TBR或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-62	7.5	110	83.2	1000	并	162	165	31	4/3	248	2	4-φ1.45	93	2	12.5×16	4	0.9/3.6		600		φ1.20	4.05	4	2.5	19	2.44×6.4	1.4		0.125
	7.5	220	41.4	1000	并				3	558		2-φ1.40		1					1060		φ0.69	1.685			41	1.56×5.5	7.1		
	7.5	440	20.7	1000	他				18/5	1116		2-φ1.08	155	1					900		φ0.83	2.32			80	1.0×5.9	28.4		
	5.5	110	62.8	750	并				2	372		2-φ1.74	93	2					610		φ0.93	2.63			28	1.0×12.5	3.16		
	5.5	220	31.25	750	并				11/3	682		φ1.81		1					1050		φ0.80	2			51	1.08×5.5	10.6		
	5.5	440	14.8	750	他				23/5	1426		φ1.25	155						920		φ0.83	2.23			103	φ2.02	42.42		
	4	110	47.6	600	并				7/3	434		2-φ1.56	93						650		φ1.04	2.82			33	1.81×6.4	4.29		
	4	160	30.8	600	他				10/3	620		2-φ1.35							1000		φ0.86	2.267			44	1.45×5.5	8.76	14	
	4	220	23.6	600	并				14/3	868		φ1.56		1					1240		φ0.74	1.55			64	1.08×4.1	17.18		
	11	115	95.6	1450	复				4/3	248		4-φ1.50		3				5	620	1.68×12.5	φ0.93	2.065			17	1.68×12.5			
	11	230	47.8	1450	复				8/3	496		2-φ1.50		1				10	850	1.68×6.4	φ0.64	1.465			34	1.81×6.4			
Z3-71	17	220	89.8	1500	并	195	125	31	2	372		1.45×4.4		2			1.0/4.0		1150		φ0.80	2.218		3	29	2.44×6.4	2.63		0.233

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ或QZB线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或QZB线规/mm 串	主极 QZ或QZB线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 QZR或TBR线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-71	17	440	44.8	1500	他	195	125	31	12/5	744	2	2-ϕ1.45	155	1	12.5×16	4	1.0/4.0		980		ϕ0.86	2.74	4	3	53	1.16×6.4	11.51		0.233
	10	110	110.3	1000	并			29	1	290		2-1.0×4.4	145	3					600		ϕ1.04	3.35			23	1.45×12.5	1.57		
	10	220	54.75	1000	并				2	580		1.0×4.4	145	2					1000		ϕ0.72	2.04			45	1.68×6.4	7		
	10	440	26.3	1000	他			31	19/5	1178		ϕ1.56	155	1					1100		ϕ0.80	1.935			83	1.0×5.9	25.9		
	7.5	110	85.3	750	并				2	372		1.68×4.4	93	2					750		ϕ1.08	3.01			29	2.26×6.4	2.54		
	7.5	220	42.1	750	并				4	744		2-ϕ1.40	93	1					1000		ϕ0.74	2.27			52	1.25×6.4	11.51		
	7.5	440	21.1	750	他				24/5	1488		ϕ1.35	155	1					800		ϕ0.83	2.99			104	1.0×4.4	42.29		
	5.5	110	64.5	600	并				8/3	496		3-ϕ1.4	93	2					550		ϕ0.96	3.18			33	1.95×6.4	5.12		
	5.5	220	31.9	600	并				5	930		2-ϕ1.30	93	1					1100		ϕ0.74	1.89			69	1.08×6.4	15.67		
	14	115	124.7	1450	复			27	1	270		2-ϕ1.16×4.4	135	3				4	495	1.68×12.5	ϕ0.90	2.93			20	1.68×12.5			
	14	230	60.8	1450	复			31	8/3	496		4-ϕ1.25	93	2				12	825	1.81×6.4	ϕ0.64	1.865			36	1.81×6.4			
Z3-72	22	220	115.7	1500	并		165	29	1	290		2-1.0×4.4	145	3					1020		ϕ0.86	2.46			22	1.56×12.5	2.07		0.275

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ或QZB线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或QZB线规/mm 串	主极 QZ或QZB线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 TBR或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-72	22	440	57.9	1500	他	195	165	29	2	580	2	1.0×4.4	145	2	12.5×16	4	1.0/4.0		850		φ0.93	3.01	4	8	42	1.68×6.4	8.26		0.275
	13	110	142.5	1000	并			35	1	210		2-1.35×4.4	105	3					815		φ1.25	3.23			16	2.1×12.5	1.08		
	13	220	70.8	1000	并				2	420		1.35×4.4	105	2					1300		φ0.90	2.1			32	2.26×6.4	4.33		
	13	440	35.4	1000	他			31	14/5	868		2-φ1.35	155	1					1170		φ0.93	2.12			62	1.25×5.9	20.68		
	10	110	112.2	750	并			29	1	290		2-1.16×4.4	145	3					742		φ1.16	3.1			22	1.56×12.5	2.01		
	10	220	55.8	750	并				2	580		1.16×4.4	145	2					1200		φ0.80	1.95			43	1.45×6.4	8.04		
	10	440	27.9	750	他			31	18/3	1116		2-φ1.20	155	1					1000		φ0.93	2.59			80	1.08×4.7	34.19		
	7.5	110	86.9	600	并			29	2	348		1.95×4.4	87	2					700		φ1.16	3.36			27	2-1.45×5.9	2.89		
	7.5	220	42.9	600	并			31	11/3	682		3-φ1.20	93	1					1400		φ0.86	1.775			50	1.25×6.4	12.77		
	19	115	165.2	1450	复				1	186		2-1.45×4.4	93	4				4	450	2.44×12.5	φ1.08	3.69			14	2.44×12.5			
	19	230	82.7	1450	复				2	372		1.45×4.4	93	2				8	890	2.26×6.4	φ0.77	1.8			28	2.83×6.4			
Z3-73	30	220	156.6	1500	并		235	35	1	210		2-1.45×4.4	105	4					840		φ1.0	3			16	2.1×12.5	1.54		0.35
	30	440	76	1500	他			31	7/5	434		3-φ1.56	155	2					870		φ1.0	2.66			32	1.35×11.6	7.36		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ或QZB线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或QZB线规/mm 串	主极 QZ或QZB线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 TBR或QZR线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-73	17	220	92	1000	并	195	235	27	2	324	2	1.68×4.4	81	2	12.5×16	4	1.0/4.0		900		φ0.86	2.17	4	3	24	1.45×12.5	3.72		0.35
	17	440	46	1000	他			31	2	620		2-φ1.56	155	2					820		φ1.04	3			46	1.56×6.4	15.03		
	13	110	145	750	并			35	1	210		2-1.45×4.4	105	2					530		φ1.30	4.07			16	2.83×12.5	1.54		
	13	220	72.2	750	并				2	420		1.45×4.4	105	2					1090		φ0.90	2.02			31	1.68×8.6	6.16		
	13	440	36.1	750	他			31	13/5	806		2-φ1.40	155	1					800		φ1.04	3.13			58	1.35×5.9	25.4		
	10	110	114.3	600	并				4/3	248		4-φ1.74	93	3					590		φ1.35	4			19	3.05×9.3	2.4		
	10	220	56.8	600	并				8/3	496		4-φ1.25	93	2					1220		φ0.96	2.08			36	2.26×6.4	9.62		
	26	230	113	1450	复			27	1	270		2-1.16×4.4	135	3				4	830	1.56×12.5	φ0.86	2.02			20	1.56×12.5			
Z3-81	40	220	208	1500	并	245	125	29	1	290	2	2-1.45×5.5	145	3	16×25	4	1.4/5.6	2	1000	2.63×14.5	φ1.04	3.48	4	4	22	2.63×14.5	1.41		0.63
	40	440	102.2	1500	他				2	580		1.45×5.5	145	2					960		φ1.25	4.4			43	1.45×12.5	5.63		
	22	220	118.5	1000	并			37	2	444		1.81×5.5	111	2				2	1100	1.81×12.5	φ1.0	2.98			34	1.81×12.5	3.33		
	22	440	58.1	1000	他			29	10/3	928		2-φ1.20	145	2					1190		φ1.08	2.76			66	2.1×6.4	14.44		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZ或QZB线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或TBR线规/mm 串	主极 QZ或TBR线规/mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 TBR或QZB线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-81	17	220	93.1	750	并	245	125	29	2	580	2	1.56×5.5	145	2	16×25	4	1.4/5.6	3	1140	1.68×12.5	ϕ1.04	3.11	4	4	44	1.68×12.5	5.53		0.63
	17	230	44.5	750	他			29	4	1160		3-ϕ1.25	145	2					1100		ϕ1.16	3.34			87	1.56×6.4	25.67		
	13	220	73.4	600	并			37	2	740		1.08×5.5	185	2					1320		ϕ0.96	2.32			54	2.44×6.4	9.24		
	35	230	152.2	1450	复			33	2	396		2.1×5.5	99	2				6	750	2.44×12.5	ϕ0.86	3			29	2.44×12.5			
Z3-82	55	220	284	1500	并		175	35	1	210	2	2-ϕ1.95×5.5	105	4				2	1000	2.83×18	ϕ1.16	3.5	4	4	16	2.83×18	1.06		0.73
	30	220	158.5	1000	并			27	2	324		2.44×5.5	81	2				2	950	1.81×18	ϕ1.04	3.18			25	1.81×18	2.52		
	30	440	77.7	1000	他			31	2	620		1.25×5.5	155	2					1000		ϕ1.30	3.95			47	1.16×12.5	9.42		
	22	220	119	750	并			35	2	420		1.81×5.5	105	2				3	1160	1.95×12.5	ϕ1.08	2.72			32	1.95×12.5	4.33		
	22	440	58.2	750	他			29	3	870		4-ϕ1.20	145	2					1080		ϕ1.04	2.39			66	1.95×6.4	18.26		
	17	220	95.4	600	并			43	2	516		1.56×5.5	129	2					1150		ϕ1.16	3.1			39	1.56×12.5	6.56		
	48	230	208.2	1450	复				1	258		2-1.56×5.5	129	3				4	950	2.26×18	ϕ1.12	3.28			20	2.26×18			
Z3-83	75	220	386	1500	并	245	230	27	1	162	2	2-2.63×5.5	81	5				2	940	4.1×18	ϕ1.3	4			12	4.1×18	0.85		0.95

（续）

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	电枢							换向片数	每杆刷数	电刷	主极							换向极				电枢回路电感/μH	外接电感/μH	转动惯量/kg·m²
						铁心外径/mm	铁心长度/mm	槽数	每元件匝数	总导体数	支路数	QZ或QZB线规/mm			尺寸/mm	极数	气隙/mm	每极匝数 串	每极匝数 并	QZ或TBR线规/mm 串	QZ或TBR线规/mm 并	并励电流/A	极数	气隙/mm	每极匝数	TBR或QZB线规/mm			
Z3-83	75	440	190.7	1500	他	245	230	33	1	330		2-1.35×5.5	165	3	16×25	4	1.4/5.6		980		φ1.45	4.1	4	4	24	2.63×18	3.17		0.95
	40	220	210	1000	并			41	1	246	2	2-1.56×5.5	123	3					960		φ1.25	3.75			19	2.1×18	1.89		
	30	220	160.4	750	并			27	2	324		2.63×5.5	81	2				2	980	1.68×18	φ1.16	3.26			24	1.68×18	2.85		
	30	440	78.3	750	他			31	2	620	2	1.35×5.5	155	2					1120		φ1.45	3.68			46	1.25×12.5	11.4		
	22	220	120	600	并			35	2	420	2	2.1×5.5	105	2				3	1050	1.81×12.5	φ1.16	2.95			31	1.81×12.5	4.71		
	67	230	291	1450	复			33	1	198	2	2-2.1×5.5	99	4				4	700	2.63×18	φ1.16	4			15	2.63×18			
Z3-91	100	220	510	1500	并	294	190	38	1	304	4	2-1.56×5.9	152	4	20×32		1.8/7.2	1	1150	5.5×18	φ1.40	4.07	4	6	11.5 2a=2	5.1×18	0.57		1.83
	100	440	252	1500	他			31	1	310	2	2-1.45×5.9	155	2				3	1000	2.83×18	φ1.40	4.14			23	2.63×16.8	2.35		
	55	220	286	1000	并			39	1	234	2	2-1.81×5.9	117	2				2	1220	3.53×18	φ1.25	3.13			18	3.53×16.8	1.36		
	40	220	211	750	并			31	1	310	2	2-1.45×5.9	155	2				3	1250	3.05×18	φ1.20	2.905			23	3.05×16.8	2.35		
	40	440	103	750	他				2	620	2	1.45×5.9	155	2				6	1120	1.95×16.8	φ1.35	3.29			47	1.95×16.8	9.4		
	30	220	161	600	并			33	2	396	2	2.44×5.9	99	2				3	1250	2.83×18	φ1.20	2.81			30	2.83×16.8	3.8		
	90	230	391	1450	复			31	1	186	2	2-2.44×5.9	93	3				3	1150	4.1×18	φ1.30	3.25			14	4.1×16.8			

（续）

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	电枢							换向片数	每杆刷数	电刷尺寸/mm	主极							换向极				电枢回路电感/μH	外接电感/μH	转动惯量/kg·m²
						铁心外径/mm	铁心长度/mm	槽数	每元件匝数	总导体数	支路数	QZB线规/mm				极数	气隙/mm	每极匝数 串	每极匝数 并	QZ或TBR线规/mm 串	QZ或TBR线规/mm 并	并励电流/A	极数	气隙/mm	每极匝数	TBR线规/mm			
Z3-92	125	220	635	1500	并	294	255	38	1	228	4	2-1.95×5.9	114	5	20×32	4	1.8/7.2	2	850	5.5×25	ϕ1.35	4.35	4	6	17 2a=2	3.53×16.8	0.43		2.18
	75	220	385.2	1000	并			31	1	186	2	2-2.83×5.9	93	3				2	900	3.8×25	ϕ1.25	4.2			14	4.4×16.8	1.11		
	75	440	188	1000	他			37	1	370	2	2-1.25×5.9	185	2				3	800	2.63×18	ϕ1.35	4.74			27	2.1×16.8	3.59		
	55	220	289	750	并				1	222	2	2-1.95×5.9	111	2				2	850	4.4×18	ϕ1.40	4.98			17	3.53×16.8	1.8		
	55	440	139	750	他			45	1	450	2	2-1.0×5.9	225	2				4	730	2.1×18	ϕ1.56	5.85			34	1.68×16.8			
	40	220	214	600	并			31	1	310	2	2-1.68×5.9	155	2				2	1000	3.53×18	ϕ1.25	3.33			23	2.63×16.8	3.1		
	115	230	500	1450	复			46	1	276	4	2-1.56×5.9	138	4				2	650	4.7×25	ϕ1.45	5.93			20 2a=2	5.1×1.8			
Z3-101	160	220	808	1500	并	327	245	50	1	400	8	1-2.26×6.4	100	5	25×32		2.0/8.0	1	790	7×25	ϕ1.62	6.55		8	8	2-3.8×16.8	0.34		3.48
	100	220	511	1000	并				1	300	4	2-1.56×6.4	150	3				2	850	5.1×25	ϕ1.45	5.5			23 2a=2	2.83×16.8	0.78		

（续）

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 QZB线规 /mm	换向片数	每杆刷数	电刷尺寸 /mm	主极 极数	主极 气隙 /mm	主极 每极匝数 串	主极 每极匝数 并	主极 QZ或TBR线规 /mm 串	主极 QZ或TBR线规 /mm 并	主极 并励电流 /A	换向极 极数	换向极 气隙 /mm	换向极 每极匝数	换向极 TBR线规 /mm	电枢回路电感 /μH	外接电感 /μH	转动惯量 /kg·m²
Z3-101	75	220	387	750	并	327	245	35	1	210	2	2-2.63 ×6.4	105	2	25× 32	4	2.0/ 8.0	2	820	3.8 ×25	φ1.45	5.29	4	8	16	4.4× 16.8	1.45		3.48
	55	220	289	600	并			43	1	258	2	2-1.95 ×6.4	129	2				3	910	3.05 ×25	φ1.45	4.51			19	3.28× 16.8	2.25		
	145	230	631	1450	复			42	1	252	4	2-1.95 ×6.4	126	4				2	630	5.5 ×25	φ1.45	6			19 2a =2	3.53× 16.8			
	160	440	402	1500	他			50	1	400	4	2-1.16 ×6.4	200	3					740		φ1.88	8.24			15	4.1× 16.8	1.38		
	100	440	254	1000	他			49	1	294	2	2-1.56 ×6.4	147	2					860		φ1.88	6.95			22	3.53× 16.8	2.95		
Z3-102	200	220	1010	1500	并	327	300	42	1	336	8	2-1.45 ×6.4	84	6				1	730	7× 25	φ1.56	6.34			13 2a =2	5.5× 16.8	0.29		
	125	220	635	1000	并				1	252	4	2-1.95 ×6.4	126	4				2	820	5.5 ×25	φ1.45	4.82			19 2a =2	3.8× 16.8	0.67		
	180	230	783	1450	复			50	1	400	8	1-2.44 ×6.4	100	5				1	690	6× 25	φ1.81	7			15 2a =2	4.1× 16.8			3.95
	200	440	500	1500	他			42	1	336	4	2-1.68 ×6.4	168	3				1	550	4.1 ×25	φ1.74	8.52			13	5.5× 16.8	1.18		

注：有“·”者为试制数据。

附表 1-3　Z4 系列直流电动机主要技术数据(中心高 100～112mm、励磁电压 180V)

型号	额定功率/kW	额定转速/(r/min)			弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
		160V	400V	440V								
Z4-100-1	2.2	1490			3000	17.9	315	1.19	11.2	67.8	0.0011	72
	1.5	955			2000	13.3		2.17	21.4	58.5		
	4		2630		4000	12		2.82	24	78.9		
	4			2960	4000	10.7				80.1		
	2		1310		3000	6.6		9.12	86	68.4		
	2.2			1480	3000	6.5				70.6		
	1.4		860		2000	5.1		16.76	163	60.3		
	1.5			990	2000	4.77				63.2		
Z4-112/2-1	3	1540			3000	24	320	0.785	7.1	69.1	0.0018	100
	2.2	975			2000	19.6		1.498	14.1	62.1		
	5.5		2630		4000	16.4		1.933	17.9	79.9		
	5.5			2940	4000	14.7				81.1		
	2.8		1340		3000	9.1		6	59	71.2		
	3			1500	3000	8.6				72.8		
	1.9		855		2000	6.9		11.67	110	61.1		
	2.2			965	2000	7.1				63.5		
Z4-112/2-2	4	1450			3000	31.3	350	0.567	6.2	72.6	0.0022	107
	3	1070			2000	24.8		0.934	10.3	66.8		
	7		2660		4000	20.4		1.305	14	82.4		
	7.5			2980	4000	19.7				83.5		
	3.7		1320		3000	11.7		4.24	48.5	74.1		
	4			1500	3000	11.2				76		
	2.6		895		2000	9		7.62	83	65.1		
	3			1010	2000	9.1				67.3		
Z4-112/4-1	5.5	1520			3000	42.5	500	0.38	3.85	73	0.0032	106
	4	990			2000	33.7		0.741	7.7	64.9		
	10		2680		4000	29		0.89	9	82.7		
	11			2950	4000	28.8				83.3		
	5		1340		2200	15.7		3.01	30.5	74.3		
	5.5			1480	2200	15.4				75.7		
	3.7		855		1400	13		5.78	60	65.2		
Z4-112/4-1	4			980	1400	12.2	500	5.78	60	68.7	0.0032	106

（续）

型　号	额定功率 /kW	额定转速 /(r/min) 160V	400V	440V	弱磁转速 /(r/min)	电枢电流 /A	励磁功率 /W	电枢回路电　阻 /Ω(20°C)	电枢回路电　感 /mH	效率 (%)	转动惯量 /(kg·m²)	重量 /kg
Z4-112/4-2	5.5	1090			2000	43.5	570	0.441	5.1	69.5	0.039	114
	13		2740		4000	37		0.574	6.4	84.4		
	15			3035	4000	38.6				85.4		
	6.7		1330		2200	20.6		2.12	24.1	76.8		
	7.5			1480	2200	20.6				78.4		
	5		955		1500	16.1		3.46	40.5	71.1		
	5.5			1025	1500	15.7				71.9		

附表 1-4　Z4 系列直流电动机主要技术数据（中心高 132～355mm、励磁电压 180V）

型　号	额定功率 /kW	额定转速 /(r/min) 400V	440V	弱磁转速 /(r/min)	电枢电流 /A	励磁功率 /W	电枢回路电　阻 /Ω(20°C)	电枢回路电　感 /mH	效率 (%)	转动惯量 /(kg·m²)	重量 /kg
Z4-132-1	18.5	2610		4000	52.2	650	0.368	5.3	85	0.008	140
	18.5		2850	4000	47.1				85.9		
	10	1330		2400	30.1		1.309	18.9	79.4		
	11		1480	2500	29.6				80.9		
	7	865		1600	22.7		2.56	37.5	71.9		
	7.5		975	1600	21.4				74.5		
Z4-132-2	20	2800		3600	55.4	730	0.226	3.65	87.8	0.01	160
	22		3090	3600	55.3				88.3		
	15	1360		2500	44.5		0.811	13.5	81.2		
	15		1510	2500	39.5				83.4		
	10	905		1600	31.1		1.565	26	75.6		
	11		995	1600	30.5				77.7		
Z4-132-3	27	2720		3600	74.5	800	0.1905	3.4	88.2	0.012	180
	30		3000	3600	75				88.6		
	18.5	1390		2800	53.2		0.531	9.8	83.6		
	18.5		1540	3000	47.6				84.7		
	15.5	945		1600	40.5		0.976	19.4	79.4		
	15		1050	1600	40.5				80.5		
Z4-160-11	33	2710		3500	93.4	820	0.1835	3.25	87.4	0.016	220
	37		3000						88.5		
	19.5	1350		3000	58.8		0.593	10.4	80.4		
	22		1500						82.6		

（续）

型　号	额定功率/kW	额定转速/(r/min) 400V	440V	弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
Z4-160-22	40.5	2710		3500	113	920	0.1426	2.7	88.2	0.019	242
	45		3000						89.1		
21	16.5	900		2000	50.5		0.862	17.7	77.9		
	18.5		1000						79.4		
Z4-160-32	49.5	2710		3500	137	1050	0.097	2.07	89.1	0.022	268
	55		3010						90.2		
31	27	1350		3000	77.8		0.376	8.3	84.7		
	30		1500						85.7		
31	19.5	900		2000	59.1		0.675	15.2	79.1		
	22		1000						81.7		
Z4-180-11	33	1350		3000	95.4	1200	0.29	5.8	84.7	0.038	326
	37		1500						86.5		
	16.5	670		1900	51.4		0.947	17.6	75.5		
	18.5		750						78.1		
	13	540		2000	42.4		1.264	25	73		
	15		600						74.1		
Z4-180-22	67	2710		3400	185	1400	0.0555	1.16	89.5	0.043	350
	75		3000						90.7		
21	40.5	1350		2800	115		0.2125	4.65	85.8		
	45		1500						87		
21	27	900		2000	78.7		0.419	9.3	82.2		
	30		1000						83.7		
21	19.5	670		1400	60.3		0.756	15.7	77.3		
	22		750						79.7		
21	16.5	540		1600	52		1.003	21.9	73.8		
	18.5		600						76.8		
Z4-180-31	33	900		2000	96.6	1500	0.332	7.7	82.8	0.048	380
	37		1000						83.6		

（续）

型　号	额定功率/kW	额定转速/(r/min)		弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
		400V	440V								
Z4-180-31	19.5	540		1250	61.8	1500	0.801	19	74.8	0.048	380
	22		600						76.6		
Z4-180-42	81	2710		3200	221	1700	0.051	1.16	91	0.055	410
	90		3000						91.3		
Z4-180-41	50	1350		3000	139	1700	0.1417	3.2	87.5	0.055	410
	55		1500						87.7		
41	27	670		2250	79.5		0.459	10.4	80.4		
	30		750						81.1		
Z4-200-12	99	2710		3000	271	1400	0.0373	0.83	90.2	0.092	485
	110		3000						91.6		
11	40.5	900		2000	118		0.2653	8.4	83.4		
	45		1000						85.5		
11	33	670		2000	99		0.369	10.6	80.9		
	37		750						83.5		
11	19.5	450		1350	63.5		0.93	21.9	73.5		
	22		500						78.6		
Z4-200-21	67	1350		3000	188	1500	0.0885	2.8	88.7	0.105	530
	75		1500						89.6		
21	27	540		1000	82		0.535	14	78.8		
	30		500						80.4		
	119	2710		3200	322	1750	0.0266	0.79	91.7	0.12	580
Z4-200-32	132		3000						92.4		
	81		1350	2800	224		0.0771	2.6	88.7		
	90		1500						90		
31	49.5	900		2000	141		0.1751	4.8	85.6		
	55		1000						87.1		
31	40.5	670		1400	119		0.283	8.5	82.5		
31	45		750						84.1		

（续）

型号	额定功率/kW	额定转速/(r/min)		弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
		400V	440V								
Z4-200-31	33	540		1600	101	1750	0.42	12.2	79.6	0.12	580
	37		600						82		
31	27	450		750	83.5		0.598	17.1	77.5		
31	30		500						79.5		
Z4-225-11	99	1360		3000	276	2300	0.0664	2.1	87.9	0.125	680
	110		1500						89.4		
	67	900		2000	193		0.1406	4.9	84.4		
	75		1000						86.5		
	49	680		1600	146		0.2433	8.7	81.2		
	55		750						84		
	40	540		1800	123		0.356	9.5	78.2		
	45		600						80.8		
	33	450		1600	103		0.476	15.2	76.5		
	37		500						78.8		
Z4-225-21	49	540		1200	148	2470	0.2648	9.5	79.3	0.14	740
	55		600						82.4		
	40	450		1400	125		0.397	13.7	76.6		
	45		500						78.9		
Z4-225-31	119	1360		2400	327	2580	0.0454	1.5	89.3	0.155	800
	132		1500						90.5		
	81	900		2000	227		0.093	3.4	86.9		
	90		1000						88		
	67	680		2250	197		0.167	5.1	82.5		
	75		750						85.1		
Z4-250-11	144	1360		2100	399	2500	0.0444	1.3	88.8	0.22	890
	160		1500						89.9		
	99	900		2000	281		0.0911	2.4	86.2		
	110		1000						88.1		

（续）

型号	额定功率/kW	额定转速/(r/min)		弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
		400V	440V								
Z4-250-21	167	1360		2200	459	2750	0.0325	0.91	89.8	0.25	970
	185		1500						90.5		
	81	680		2250	234		0.1306	3.9	84.3		
	90		750						86.3		
	67	540		2000	202		0.198	4.4	80.5		
	75		600						84.1		
	49	450		1000	150		0.294	7.9	78.4		
	55		500						82.2		
Z4-250-31	180	1360		2400	493	2850	0.0281	0.87	90.4	0.28	1070
	200		1500						91.5		
	119	900		2000	334		0.0668	1.7	87.4		
	132		1000						89.1		
	99	680		1900	283		0.0987	2.8	85.3		
	110		750						86.9		
Z4-250-41	198	1360		2400	539	3000	0.0237	0.93	91	0.32	1180
	220		1500						91.7		
	144	900		2000	401		0.0485	1.9	88.3		
	160		1000						89.4		
	81	540		2000	236		0.141	4.7	83.4		
	90		600						85		
	67	450		1900	201		0.195	5.1	80		
	75		500						83.5		
Z4-280-11	226	1355		2000	614	3100	0.02134	0.69	90.9	0.41	1280
	250		1500						91.6		
Z4-280-22	253	1355		1800	684	3500	0.01796	0.77	91.5	0.46	1400
	280		1500						92.1		
21	180	900		2000	498		0.0373	1.2	89.1		
	200		1000						90.1		

（续）

型　号	额定功率/kW	额定转速/(r/min)		弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
		400V	440V								
21	119	675		1600	333	3500	0.0662	2.3	87.1	0.46	1400
	132		750						88.6		
	99	540		1500	281		0.093	3.1	85.3		
	110		600						86.6		
21	284	1360		1800	768	3600	0.01493	0.59	91.7	0.53	1550
Z4-280-32	315		1500						92.6		
	198	900		2000	545		0.0314	1.1	89.7		
31	220		1000						90.6		
	144	675		1700	402		0.0532	2	87.8		
32	160		750						89.1		
	118	540		1200	339		0.0839	2.6	85.4		
31	132		600						86.8		
	80	450		1800	234		0.1377	5.3	84.1		
31	90		500						85.4		
	321	1360		1800	863	4000	0.01336	0.77	92.1	0.6	1700
	355		1500						92.6		
Z4-280-42	225	900		1800	616		0.02545	0.96	90.2		
	250		1000						91.1		
	166	675		1900	464		0.0457	1.7	88.1		
Z4-280-42	185		750						89.4		
41	98	450		1200	282		0.0993	3.7	85.1		
	110		500						86.9		
41	253	900		1600	690	3850	0.02355	0.46	90.4	0.53	1890
	280		1000						91.6		
Z4-315-12	180	680		1900	500		0.04371	0.83	88.4		
	200		750						89.4		
Z4-315-11	144	540		1900	409		0.06919	1.3	86.4		
	160		600						87.4		

（续）

型　号	额定功率/kW	额定转速/(r/min) 400V	440V	弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
Z4-315-11	118	450		1600	344	3850	0.1	2.3	84.4	0.53	1890
	132		500						86.3		
	98	360		1200	294		0.1415	2.9	81.7		
	110		400						84.3		
Z4-315-22	284	900		1600	772	4350	0.02034	0.49	91	0.6	2080
	315		1000						91.5		
	225	680		1600	624		0.03392	0.74	88.7		
	250		750						89.6		
Z4-315-21	166	540		1600	468		0.05382	1.2	87.2		
	185		600						88.5		
	143	450		1500	413		0.076	1.5	84.7		
	160		500						86		
Z4-315-32	320	900		1600	867	4650	0.01658	0.39	91.3	0.68	2290
	355		1000						92.3		
	252	680		1600	698		0.03043	0.82	89.1		
	280		750						89.8		
	180	540		1500	501		0.04536	0.95	88.2		
	200		600						89.4		
Z4-315-31	118	360		1200	344		0.1002	2.1	83.2		
	132		400						85.3		
Z4-315-42	361	900		1600	971	5200	0.01302	0.33	92.1	0.77	2520
	400		1000						92.7		
	284	680		1600	778		0.02364	0.67	90		
	315		750						90.7		
	25	540		1600	626		0.03554	0.87	88.3		
	250		600						89		
Z4-315-41	166	450		1500	468		0.055	1.4	87.3		
	185		500						88.3		
	143	360		1200	416		0.0803	1.8	84		
	160		400						85.3		

（续）

型号	额定功率/kW	额定转速/(r/min) 400V	额定转速/(r/min) 440V	弱磁转速/(r/min)	电枢电流/A	励磁功率/W	电枢回路电阻/Ω(20°C)	电枢回路电感/mH	效率(%)	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
Z4-355-12	406	900		1500	1094	5400	0.01259	0.36	91.8	1.05	2890
	450		1000						92.8		
	321	680		1500	877		0.02087	0.59	90.4		
	355		750						91.2		
Z4-355-11	253	540		1600	697		0.02952	0.91	89.2		
	280		600						90.2		
	180	450		1500	506		0.0502	1.5	87.6		
	200		500						88.9		
	166	360		1200	478		0.066	1.8	84.9		
	185		400						85.9		
Z4-355-22	361	680		1600	978	5900	0.01583	0.44	90.8	1.15	3170
	400		750						91.7		
	284	540		1500	783		0.02676	0.81	89.5		
	315		600						90.5		
	225	450		1600	624		0.03462	1.0	88.4		
	250		500						89.5		
Z4-355-21	180	360		1200	511		0.05642	1.6	86.3		
	200		400						87.5		
Z4-355-32	406	680		1500	1098	6200	0.01362	0.39	91.3	1.3	3490
	450		750						92.1		
	320	540		1600	877		0.02153	0.7	89.9		
	355		600						91		
	284	450		1500	789		0.0293	0.91	88.3		
	315		500						89.5		
Z4-355-31	197	360		1200	559		0.04957	1.3	86.8		
	220		400						88.4		
Z4-355-42	361	540		1600	985	6700	0.01836	0.64	90.5	1.5	3840
	400		600						91.2		
	320	450		1600	882		0.02361	0.76	88.9		
	355		600						89.2		
	225	360		1200	627		0.0358	1.2	87.5		
	250		400						88.8		

附表 1-5　ZD2 型有补偿直流变速电动机技术数据（B 级、他励、连续定额）

型号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	电枢												
					外径/内径/mm	长度/mm	槽数	槽宽/mm	槽深/mm	每线圈元件数	每元件匝数	每槽导体数	并联支路数	绕组型式	槽节距	线规/mm	导线重/kg
ZD2-121-1B	55	220	292	320/1200	423/120	240	55	8.2	37.5	3	1	6	2	单波	1—15	2-1.68×7.4	54.6
ZD2-121-1B	75	220	390	400/1200	423/120	240	45	9.7	37.5	3	1	6	2	单波	1—12	2-2.1×7.4	54.8
ZD2-121-1B	100	220	514	500/1200	423/120	240	54	8.8	37.5	4	1	16	8	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.35×7.4	57
ZD2-121-1B	100	440	254	500/1200	423/120	240	45	8.8	37.5	5	1	10	2	单波	1—12	2-1.75×7.4	64
ZD2-122-1B	75	220	392	320/1200	423/120	300	45	9.7	37.5	3	1	6	2	单波	1—12	2-2.1×7.4	59.5
ZD2-122-1B	100	220	516	400/1200	423/120	300	54	8.8	37.5	4	1	16	8	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.35×7.4	61.6
ZD2-122-1B	100	440	257	400/1200	423/120	300	45	11	37.5	5	1	10	2	单波	1—12	2-1.45×7.4	69
ZD2-122-2B	125	220	628	500/1200	423/120	300	42	10.1	37.5	4	1	16	8	单蛙	叠 1—11 波 1—12	1.68×7.4	60.5
ZD2-122-1B	125	440	314	500/1200	423/120	300	59	8.2	37.5	3	1	6	2	单波	1—16	2-1.68×7.4	63.5
ZD2-123-1B	100	220	520	320/1200	423/120	375	54	8.8	37.5	4	1	16	8	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.35×7.4	67
ZD2-123-1B	100	440	257	320/1200	423/120	375	45	11	37.5	5	1	10	2	单波	1—12	2-1.45×7.4	75
ZD2-123-2B	125	220	636	400/1200	423/120	375	42	9.7	37.5	4	1	16	8	单蛙	叠 1—11 波 1—12	1.56×7.4	60.5
ZD2-123-1B	125	440	316	400/1200	423/120	375	59	8.2	37.5	3	1	6	2	单波	1—16	2-1.68×7.4	71.5
ZD2-123-2B	160	220	800	500/1200	423/120	375	46	9.7	37.5	3	1	12	8	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2.1×7.4	66
ZD2-123-1B	160	440	398	500/1200	423/120	375	47	9.7	37.5	8	1	6	2	单波	1—13	2-2.1×7.4	67
ZD2-131-2B	125	220	645	320/1200	493/138	320	50	10.1	37.5	4	1	16	8	单蛙	叠 1—13 波 1—14	1.68×7.4	79.5
ZD2-131-1B	125	440	320	320/1200	493/138	320	43	12.1	37.5	5	1	10	2	单波	1—12	2-1.68×7.4	85
ZD2-131-2B	160	220	805	400/1200	493/138	320	54	9.7	37.5	3	1	12	8	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2.1×7.4	76
ZD2-131-1B	160	440	400	400/1200	493/138	320	55	9.7	37.5	3	1	6	2	单波	1—15	2-2.1×7.4	78
ZD2-131-2B	200	220	1000	500/1200	493/138	320	46	12.7	37.5	3	1	12	8	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2-1.45×7.4	91
ZD2-131-1B	200	440	495	500/1200	493/138	320	45	12.1	37.5	3	1	6	2	单波	1—12	4-1.35×7.4	82.5
ZD2-132-2B	160	220	815	320/1200	493/138	400	54	9.7	37.5	3	1	12	8	单蛙	叠 1—11 波 1—12	2.1×7.4	86.3
ZD2-132-1B	160	440	409	320/1200	493/138	400	55	9.7	37.5	3	1	6	2	单波	1—15	2-2.1×7.4	85
ZD2-132-2B	200	220	1010	400/1200	493/138	400	46	12.7	37.5	3	1	12	8	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2-1.45×7.4	99.5
ZD2-132-1B	200	440	498	400/1200	493/138	400	45	12.1	37.5	3	1	6	2	单波	1—12	4-1.35×7.4	90.5
ZD2-132-2B	250	220	1240	500/1200	493/138	400	54	9.7	37.5	2	1	8	8	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2-1.56×7.4	84
ZD2-132-2B	250	440	613	500/1200	493/138	400	54	9.7	37.5	4	1	16	8	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.56×7.4	84

（续）

型号	主极									
	极数	极身宽/mm	极靴宽/mm	极身长/mm	气隙/mm	每极匝数	线规（铝线）/mm	导线重/kg	励磁电压/V	励磁电流/A
ZD2-121-1B	4	180	233	240	4	578	1.45×4.1	42.5	220/110	11.67/23.34
ZD2-121-1B	4	180	233	240	4	578	1.45×4.1	42.5	220/110	11.22/22.44
ZD2-121-1B	4	180	233	240	4	613	1.68×4.1	54	220/110	11.7/23.4
ZD2-121-1B	4	180	233	240	4	578	1.45×4.1	42.5	220/110	11.85/23.7
ZD2-122-1B	4	180	233	300	4	602	1.68×4.1	58.5	220/110	10.65/21.3
ZD2-122-1B	4	180	233	300	4	570	1.56×4.7	59	220/110	12.4/24.8
ZD2-122-1B	4	180	233	300	4	570	1.56×4.7	59	220/110	11.9/23.8
ZD2-122-2B	4	180	233	300	4	555	1.95×4.4	69.2	220/110	13.93/27.86
ZD2-122-1B	4	180	233	300	4	570	1.56×4.7	59	220/110	12.8/25.6
ZD2-123-1B	4	180	233	375	4	489	1.81×4.7	64	220/110	14.3/28.6
ZD2-123-1B	4	180	233	375	4	480	1.68×4.7	60	220/110	14/28
ZD2-123-2B	4	180	233	375	4	473	1.81×4.7	62.5	220/110	15.55/31.1
ZD2-123-1B	4	180	233	375	4	489	1.81×4.7	65	220/110	14.55/29.1
ZD2-123-2B	4	180	233	375	4	503	1.95×4.7	72	220/110	14.95/29.9
ZD2-123-1B	4	180	233	375	4	473	1.81×4.7	62.5	220/110	15.5/31
ZD2-131-2B	4	220	275.5	320	4.5	550	2.1×4.7	83.5	220/110	14.95/29.9
ZD2-131-1B	4	220	275.5	320	4.5	528	1.56×5.1	63.5	220/110	13.4/26.8
ZD2-131-2B	4	220	275.5	320	4.5	550	2.1×4.7	83.5	220/110	15.65/31.3
ZD2-131-1B	4	220	275.5	320	4.5	550	2.1×4.7	83.5	220/110	15.12/30.24
ZD2-131-2B	4	220	275.5	320	4.5	550	2.1×4.7	83.5	220/110	14.75/29.5
ZD2-131-1B	4	220	275.5	320	4.5	550	2.1×4.7	83.5	220/114	15.5/31
ZD2-132-2B	4	220	275.5	400	4.5	442	1.81×5.1	69	220/110	16.85/33.7
ZD2-132-1B	4	220	275.5	400	4.5	471	2.1×5.1	86	220/110	17.22/34.44
ZD2-132-2B	4	220	275.5	400	4.5	480	2.26×5.1	96.5	220/110	17.4/34.8
ZD2-132-1B	4	220	275.5	400	4.5	480	2.26×5.1	96.6	220/110	18/36
ZD2-132-2B	4	220	275.5	400	4.5	471	2.1×5.1	86	220/110	17.5/35
ZD2-132-2B	4	220	275.5	400	4.5	480	2.26×5.1	96.5	220/110	18.1/36.2

(续)

型号	换向极										补偿绕组					
	极数	极身宽/mm	极靴宽/mm	极身长/mm	气隙/mm	第二气隙/mm	每极匝数	并联支路数	线规(铝线)/mm	导线重/kg	每极槽数	槽宽/mm	槽深/mm	每极匝数	线规/mm	导线重/kg
ZD2-121-1B	4	40	80	230	8	2	13	1	4.7×22	9.2	6	14.6	35.8	12	3-2.63×9.3	39.4
ZD2-121-1B	4	40	80	230	8	2	11	1	6×22	10	5	17.6	35.8	10	3-3.28×9.3	43
ZD2-121-1B	4	40	80	230	8	3	7	1	2-4.1×22	8.6	6	14.6	35.8	9	3-3.53×9.6	39.9
ZD2-121-1B	4	40	80	230	8	2	16	1	3.8×22	9.2	6	14.6	35.8	18	3-1.68×9.3	38
ZD2-122-1B	4	40	80	290	8	3	11	1	6×22	12	5	17.6	35.8	10	3-3.28×9.3	47
ZD2-122-1B	4	40	80	290	8	3.5	7	1	2-4.1×22	10.2	6	14.6	35.8	9	3-3.53×9.3	43.9
ZD2-122-1B	4	40	80	290	8	3	16	1	4.1×22	11.7	6	14.6	35.8	18	3-1.68×9.3	41.9
ZD2-122-2B	4	40	80	290	8	4.5	7	1	2-5.1×22	12.8	6	14.6	35.8	6	6-2.63×9.3	43.5
ZD2-122-1B	4	40	80	290	8	2	11	1	5.1×22	10.1	6	14.6	35.8	15	3-2.1×9.3	42.8
ZD2-123-1B	4	40	80	365	8	6	7	1	7×22	10.5	6	14.6	35.8	9	3-3.53×9.3	49
ZD2-123-1B	4	40	80	365	8	1,	15	1	4.1×22	13	6	14.6	35.8	18	3-1.68×9.3	46.5
ZD2-123-2B	4	40	80	365	8	5.5	7	1	2-5.1×22	15.5	6	14.6	35.8	6	6-2.63×9.3	48.5
ZD2-123-1B	4	40	80	365	8	1.5	11	1	4.7×22	11	6	14.6	35.8	15	3-2.1×9.3	48
ZD2-123-2B	4	40	80	365	8	3	10	2	5.5×22	12	5	17.6	35.8	10	3-3.28×9.3	52.5
ZD2-123-1B	4	40	80	365	8	3.5	12	1	5.5×22	14.1	5	17.6	35.8	10	30-3.28×9.3	52.5
ZD2-131-2B	4	45	90	310	9	5	15	2	4.7×22	13.5	5	17.4	40.2	15	3-2.1×10.8	56
ZD2-131-1B	4	45	90	310	9	5	16	1	4.1×22	15	6	16.2	42.6	18	4-1.95×8.6	67
ZD2-131-2B	4	45	90	310	9	2.5	19	2	6×22	10.5	7	13	42.6	14	4-2.26×8.6	58
ZD2-131-1B	4	45	90	310	9	3.5	11	1	6×22	13	7	13	42.6	14	4-2.26×8.6	58
ZD2-131-2B	4	45	90	310	9	4	8	2	7×22	11	6	16.2	42.6	12	4-3.05×8.6	68
ZD2-131-1B	4	45	90	310	9	3.5	8	1	7×22	11	6	16.2	42.6	12	4-3.05×8.6	68
ZD2-132-2B	4	45	90	390	9	3.5	10	2	6×22	13.8	7	13	42.6	14	4-2.26×8.6	64
ZD2-132-1B	4	45	90	390	9	5	11	1	6×22	15.5	7	13	42.6	14	4-2.26×8.6	64
ZD2-132-2B	4	45	90	390	9	4.5	8	1	7×22	12.9	6	16.2	42.6	12	4-3.05×8.6	75
ZD2-132-1B	4	45	90	390	9	5	8	1	7×22	12.9	6	16.2	42.6	12	4-3.05×8.6	75.5
ZD2-132-2B	4	45	90	390	9	6.5	7	2	2-4.1×22	16.9	6	16.2	42.6	9	8-1.95×8.6	80
ZD2-132-2B	4	45	90	390	9	3	13	2	4.7×22	14	6	16.2	42.6	18	4-1.95×8.6	65

（续）

型　号	换向器			电刷				轴承	
	工作面直径 /mm	片数	节距	电刷杆数	每根刷盒数	型　号	尺寸 /mm	换向器侧	非换向器侧
ZD2-121-1B	335	165	1—83	4	2	D374B	2-12.5×32	320	2320
ZD2-121-1B	335	135	1—68	4	4	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-121-1B	335	216	叠 1—2 波 1—108	4	4	D374B	2-12.5×32	320	2320
ZD2-121-1B	335	225	1—113	4	2	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-122-1B	335	135	1—68	4	4	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-122-1B	335	216	叠 1—2 波 1—108	4	4	D374B	2-12.5×32	320	2320
ZD2-122-1B	335	225	1—113	4	2	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-122-2B	335	168	叠 1—2 波 1—84	4	6	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-122-1B	335	177	1—89	4	2	D374B	2-12.5×32	320	2320
ZD2-123-1B	335	216	叠 1—2 波 1—108	4	4	D374B	2-12.5×32	320	2320
ZD2-123-1B	335	225	1—113	4	2	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-123-2B	335	168	叠 1—2 波 1—84	4	6	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-123-1B	335	177	1—89	4	2	D374B	2-12.5×32	320	2320
ZD2-123-2B	335	138	叠 1—2 波 1—60	4	6	D374B	2-12.5×32	320	2320
ZD2-123-1B	335	141	1—71	4	4	D374B	2-10×32	320	2320
ZD2-131-2B	335	200	叠 1—2 波 1—100	4	6	D374B	2-10×32	324	2324
ZD2-131-1B	355	215	1—108	4	3	D374B	2-10×32	324	2324
ZD2-131-2B	355	162	叠 1—2 波 1—81	4	6	D374B	2-12.5×32	324	2324
ZD2-131-1B	355	165	1—83	4	3	D374B	2-12.5×32	324	2324
ZD2-131-2B	355	138	叠 1—2 波 1—69	4	8	D374B	2-10×32	324	2324
ZD2-131-1B	355	135	1—68	4	4	D374B	2-10×32	324	2324
ZD2-132-2B	355	162	叠 1—2 波 1—81	4	6	D374B	2-10×32	324	2324
ZD2-132-1B	355	165	1—83	4	3	D374B	2-12.5×32	324	2324
ZD2-132-2B	355	138	叠 1—2 波 1—69	4	8	D374B	2-10×32	324	2324
ZD2-132-1B	355	135	1—68	4	4	D374B	2-10×32	324	2324
ZD2-132-2B	355	108	叠 1—2 波 1—54	4	8	D374B	2-12.5×32	324	2324
ZD2-132-2B	355	216	叠 1—2 波 1—108	4	6	D374B	2-10×32	324	2324

（续）

型号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	电枢												
					外径/内径/mm	长度/mm	槽数	槽宽/mm	槽深/mm	每线匝元件数	每元件匝数	每槽导体数	并联支路数	绕组型式	槽节距	线规/mm	导线重/kg
ZD2-151-1B	200	220	1040	320/1000	650/182	290	69	12.1	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2.1×6.9	114.5
ZD2-151-1B	200	440	510	320/1000	650/182	290	86	8.8	37.5	2	1	4	2	单波	1—15	41.35×6.9	92.5
ZD2-151-1B	250	220	1260	400/1000	650/182	290	69	10	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2.44×6.9	100
ZD2-151-1B	250	330	842	400/1000	660/182	290	81	9.7	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.56×6.9	101.5
ZD2-151-1B	320	220	1605	500/1000	650/182	290	81	9.2	37.5	2	1	8	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2-1.45×6.9	94
ZD2-151-1B	320	440	790	500/1000	650/182	290	87	9.2	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—15 波 1—16	1.45×6.9	101
ZD2-152-1B	250	220	1268	320/1000	650/182	365	69	10.6	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2.44×6.9	109.5
ZD2-152-1B	250	330	840	320/1000	650/182	365	81	9.7	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.56×6.9	111
ZD2-152-1B	320	220	1610	400/1000	650/182	365	81	9.2	37.5	2	1	8	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2-1.45×6.9	102.5
ZD2-152-1B	320	440	788	400/1000	650/182	365	87	9.2	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—15 波 1—16	1.45×6.9	110.5
ZD2-152-1B	400	330	1325	500/1000	650/182	365	69	10.6	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2.44×6.9	109.5
ZD2-152-1B	400	440	975	500/1000	650/182	365	69	10.6	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—12 波 1—13	1.81×6.9	110
ZD2-152-1B	320	220	1610	320/1000	650/182	450	81	8.8	37.5	2	1	8	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2-1.35×6.9	105
ZD2-153-1B	320	440	798	320/1000	650/182	450	81	8.8	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.35×6.9	105
ZD2-153-1B	400	330	1315	400/1000	650/182	450	69	10.6	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—12 波 1—13	2.44×6.9	120
ZD2-153-1B	400	440	985	400/1000	650/182	450	69	10.6	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—12 波 1—13	1.81×6.9	121
ZD2-153-1B	500	330	1630	500/1000	650/182	450	81	9.2	37.5	2	1	8	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2-1.45×6.9	113
ZD2-153-1B	500	660	815	500/1000	650/182	450	81	9.2	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.45×6.9	113
ZD2-172-1B	400	330	1840	320/1000	850/493	360	87	10.1	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—15 波 1—16	2.26×6.9	144.5
ZD2-172-1B	400	440	1000	320/1000	850/493	360	81	10.6	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.81×6.9	146
ZD2-172-1B	500	330	1660	400/1000	850/493	360	75	13.5	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—13 波 1—14	2-1.56×6.9	175
ZD2-172-1B	500	440	1240	400/1000	850/493	360	87	10.1	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—15 波 1—16	2.26×6.9	144.5
ZD2-172-1B	630	330	2080	500/1000	850/493	360	81	10.6	37.5	2	1	8	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2-1.81×6.9	146
ZD2-172-1B	630	660	1030	500/1000	850/493	360	81	10.6	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.81×6.9	146
ZD2-173-1B	500	440	1240	320/1000	850/493	440	87	10.1	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—15 波 1—16	2.26×6.9	156.5
ZD2-173-1B	630	660	1030	400/1000	850/493	440	81	10.6	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.81×6.9	158
ZD2-173-1B	800	660	1300	500/1000	850/493	440	87	10.1	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2.26×6.9	156.5
ZD2-174-1B	630	66	1030	320/1000	850/493	525	81	10.6	37.5	4	1	16	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	1.81×6.9	170.5
ZD2-174-1B	800	660	1303	400/1000	850/493	525	87	10.1	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—14 波 1—15	2.26×6.9	169
ZD21-174-1B	1000	660	1610	500/1000	850/493	525	75	12.7	37.5	3	1	12	12	单蛙	叠 1—13 波 1—14	2-1.45×6.9	188.5

（续）

型号	主极									
	极数	极身宽/mm	极靴宽/mm	极身长/mm	气隙/mm	每极匝数	线规（铝线）/mm	导线重/kg	励磁电压/V	励磁电流/A
ZD2-151-1B	6	180	247	290	4.5	360	1.56×5.9	63	220/110	17.45/34.9
ZD2-151-1B	6	180	247	290	4.5	363	1.45×4.7	76	220/110	19.65/39.3
ZD2-151-1B	6	180	247	290	4.5	363	1.45×7.4	76	220/110	20/40
ZD2-151-1B	6	180	247	290	4.5	360	1.56×6.9	63	220/110	18.75/37.5
ZD2-151-1B	6	180	247	290	4.5	386	1.95×6.9	107.5	220/110	22.2/44.4
ZD2-151-1B	6	180	247	290	4.5	361	1.45×6.9	69.5	220/110	19.55/39.1
ZD2-152-1B	6	180	247	365	4.5	334	1.68×6.9	86	220/110	20.7/41.4
ZD2-152-1B	6	180	247	365	4.5	335	1.56×6.9	79.5	220/110	19.42/38.84
ZD2-152-1B	6	180	247	365	4.5	352	1.95×6.9	108.5	220/110	23.2/46.4
ZD2-152-1B	6	180	247	365	4.5	334	1.68×6.9	86	220/110	20.6/41.2
ZD2-152-1B	6	180	247	365	4.5	335	1.56×6.9	79.5	220/110	19.95/39.9
ZD2-152-1B	6	180	247	365	4.5	334	1.63×6.9	86	220/110	20.35/40.7
ZD2-152-1B	6	180	247	450	4.5	337	2.26×7.4	147.5	220/110	24/48
ZD2-153-1B	6	180	247	450	4.5	337	2.26×7.4	147.5	220/110	25/50
ZD2-153-1B	6	180	247	450	4.5	283	1.68×7.4	88.5	220/110	24.7/49.4
ZD2-153-1B	6	180	247	450	4.5	283	1.68×7.4	88.5	220/110	24.8/49.6
ZD2-153-1B	6	180	247	450	4.5	337	2.26×7.4	147.5	220/110	24.1/48.2
ZD2-153-1B	6	180	247	450	4.5	337	2.26×7.4	147.5	220/110	24.35/48.7
ZD2-172-1B	6	240	322	360	5	300	1.45×7.4	75.5	220/110	20.9/41.8
ZD2-172-1B	6	240	322	360	5	300	1.95×7.4	105.5	220/110	26.5/53
ZD2-172-1B	6	240	322	360	5	300	1.45×7.4	75.5	220/110	19.95/39.9
ZD2-172-1B	6	240	322	360	5	300	1.95×7.4	105.5	220/110	27.5/55
ZD2-172-1B	6	240	322	360	5	300	1.68×7.4	92	220/110	24.5/49
ZD2-172-1B	6	240	322	360	5	300	1.68×7.4	92	220/110	25/50
ZD2-173-1B	6	240	322	440	5	276	2.44×7.4	135.5	220/110	32.8/65.6
ZD2-173-1B	6	240	322	440	5	276	2.26×7.4	124.5	220/110	29.5/59
ZD2-173-1B	6	240	322	440	5	276	2.26×7.4	124.5	220/110	30.3/60.6
ZD2-174-1B	6	240	322	525	5	258	3.05×7.4	180	220/110	37.9/75.8
ZD2-174-1B	6	240	322	525	5	258	3.05×7.4	180	220/110	38.9/77.8
ZD21-174-1B	6	240	322	525	5	252	2.44×7.4	136	220/110	33/66

（续）

型号	换向极										补偿绕组					
	极数	极身宽/mm	极靴宽/mm	极身长/mm	气隙/mm	第二气隙/mm	每极匝数	并联支路数	线规(铝线)/mm	导线重/kg	每极槽数	槽宽/mm	槽深/mm	每极匝数	线规/mm	导线重/kg
ZD2-151-1B	6	42	85	290	10	1.5	4	1	2-7×22	15.5	5	16.2	38.2	5	6.5×30 4×50	60 43
ZD2-151-1B	6	42	85	290	10	4.5	7	1	7×22	13.5	5	16.2	38.2	10	3.28×30	96.5
ZD2-151-1B	6	42	85	200	10	1.5	3	1	2-11×22	18	4	19.2	38.2	4	8×30 5×50	59.5 38.5
ZD2-151-1B	6	42	85	290	10	3.5	5	1	2-6×22	16.5	6	14.2	38.2	6	5.5×30	96.5
ZD2-151-1B	6	42	85	290	10	4	5	2	2-2.6×22	16.5	6	14.2	38.2	6	5.5×30	96.5
ZD2-151-1B	6	42	85	290	10	1	5	1	2-2.6×22	16.5	6	14.2	38.2	6	5.5×30	96.5
ZD2-152-1B	6	42	85	365	10	3.5	3	1	2-11×22	21.5	4	19.2	38.2	4	8×30 5×30	68.5 38.5
ZD2-152-1B	6	42	85	365	10	4	5	1	2-5.5×22	18	6	14.2	38.2	6	5.5×30	106
ZD2-152-1B	6	42	85	365	10	4.5	5	2	2-5.5×22	18	6	14.2	38.2	6	5.5×30	106
ZD2-152-1B	6	42	85	365	10	1.5	5	1	2-5.5×22	18	6	14.2	38.2	6	5.5×30	106
ZD2-152-1B	6	42	85	365	10	4.5	3	1	2-11×22	21.5	4	19.2	38.2	4	8×30 5×50	68.5 38.5
ZD2-152-1B	6	42	85	365	10	2.5	4	1	2-7×22	18.5	5	16.2	38.2	5	6.5×30 4×50	69.5 43
ZD2-152-1B	6	42	85	450	10	4.5	5	2	2-5.5×22	21.5	6	14.2	38.2	6	5.5×30	115
ZD2-153-1B	6	42	85	450	10	4.5	5	1	2-5.5×22	21.5	6	14.2	38.2	6	5.5×30	115
ZD2-153-1B	6	42	85	450	10	5	3	1	2-11×22	25.5	4	19.2	38.2	4	8×30 5×50	77 38.5
ZD2-153-1B	6	42	85	450	10	3	4	1	2-7×22	22	5	16.2	38.2	5	6.5×30 4×50	78.5 43
ZD2-153-1B	6	42	85	450	10	6.5	5	2	2-5.5×22	21.5	6	14.2	38.2	6	5.5×30	115
ZD2-153-1B	6	42	85	450	10	5.5	5	1	2-5.5×22	21.5	6	14.2	38.2	6	5.5×30	115
ZD2-172-1B	6	50	80	360	11	9	4	1	2-7×28	24	5	21	38.2	5	8×30 5.5×50	83 79
ZD2-172-1B	6	50	80	360	11	6	5	1	11×28	24	6	16.2	38.2	6	6.5×30 5×50	81 84
ZD2-172-1B	6	50	80	360	11	2.5	3	1	2-11×22	22	4	27	38.2	4	11×30 6.5×50	91 72
ZD2-172-1B	6	50	80	360	11	9.5	4	1	2-7×28	24	5	21	38.2	5	9×30 5.5×50	83 97
ZD2-172-1B	6	50	80	360	11	7	5	2	11×28	24	6	16.2	38.2	6	6.5×30 5×50	81 84
ZD2-172-1B	6	50	80	360	11	7	5	1	11×28	24	6	16.2	38.2	6	6.5×30 5×50	81 84
ZD2-173-1B	6	50	80	440	11	9	4	1	7×28	28	5	21	38.2	5	8×30 5.5×50	93 79
ZD2-173-1B	6	50	80	440	11	7.5	5	1	11×28	27.5	6	16.2	38.2	6	6.5×30 5×50	90 84
ZD2-173-1B	6	50	80	440	11	11	4	1	2-7×28	28	5	21	38.2	5	8×30 5.5×50	93 79
ZD2-174-1B	6	50	80	525	11	8	5	1	11×28	32	6	16.2	38.2	6	6.5×30 5×50	105 84
ZD2-174-1B	6	50	80	525	11	12	4	1	2-7×28	33	5	21	38.2	5	8×30 5.5×50	108 79
ZD2-174-1B	6	50	80	525	11	4	3	1	2-11×22	29.5	4	27	38.2	4	11×30 6.5×50	118 72

（续）

型号	换向器			电刷				轴承	
	工作面直径/mm	片数	节距	电刷杆数	每根刷盒数	型号	尺寸/mm	换向器侧	非换向器侧
ZD2-151-1B	500	276	叠 1—2 波 1—92	6	5	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-151-1B	500	172	1—58	6	3	D374B	2-12.5×32	328	2332
ZD2-151-1B	500	207	叠 1—2 波 1—69	6	8	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-151-1B	500	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-151-1B	500	162	叠 1—2 波 1—54	6	8	D374B	2-12.5×32	328	2332
ZD2-151-1B	500	34.8	叠 1—2 波 1—116	6	6	D374B	2-12.5×32	328	2332
ZD2-152-1B	500	207	叠 1—2 波 1—69	6	8	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-152-1B	500	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-152-1B	500	162	叠 1—2 波 1—54	6	8	D374B	2-12.5×32	328	2332
ZD2-152-1B	500	348	叠 1—2 波 1—116	6	5	D374B	2-12.5×32	328	2332
ZD2-152-1B	500	207	叠 1—2 波 1—69	6	8	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-152-1B	500	276	叠 1—2 波 1—92	6	5	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-152-1B	500	162	叠 1—2 波 1—54	6	8	D374B	2-12.5×32	328	2332
ZD2-153-1B	500	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-153-1B	500	207	叠 1—2 波 1—69	6	8	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-153-1B	500	276	叠 1—2 波 1—92	6	5	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-153-1B	500	162	叠 1—2 波 1—54	6	8	D374B	2-12.5×32	328	2332
ZD2-153-1B	500	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32	328	2332
ZD2-172-18B	550	261	叠 1—2 波 1—87	6	6	D374B	2-12.5×32		
ZD2-172-1B	550	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32		
ZD2-172-1B	550	225	叠 1—2 波 1—75	6	8	D374B	2-12.5×32		
ZD2-172-1B	550	261	叠 1—2 波 1—87	6	6	D374B	2-12.5×32		
ZD2-172-1B	550	162	叠 1—2 波 1—54	6	8	D374B	2-12.5×32		
ZD2-172-1B	550	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32		
ZD2-173-1B	550	261	叠 1—2 波 1—87	6	6	D374B	2-12.5×32		
ZD2-173-1B	550	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32		
ZD2-173-1B	550	261	叠 1—2 波 1—87	6	6	D374B	2-12.5×32		
ZD2-174-1B	550	324	叠 1—2 波 1—108	6	5	D374B	2-10×32		
ZD2-174-1B	550	261	叠 1—2 波 1—87	6	6	D374B	2-12.5×32		
ZD21-174-1B	550	225	叠 1—2 波 1—75	6	8	D374B	2-12.5×32		

附表 1-6 ZZJ2 系列起重冶金用直流电动机技术数据(220V)

型号	励磁方式	持续率	电枢									主极						换向极			换向器			每杆刷数	电刷尺寸/mm
			铁心外径/mm	铁心长度/mm	槽数	每槽单元数	每元件匝数	总导体数	支路数	槽节距	线规/mm	气隙/mm	他励绕组匝数	串励绕组匝数	他励绕组线规/mm	串励绕组线规/mm	他励绕组电流/A	气隙/mm	匝数	线规/mm	外径/mm	片数	节距		
ZZJ2-12	串	25%	138	130	25	4	5	990	2	1—5	SBEGB 2-ϕ1.06	1.2				SBEGB 1.18×3.55		2.0		SBEGB 1.18×3.55	125	99	1—50	1	12.5×20
	复														QYϕ0.38	SBEGB 1.18×3.55									
	他														QYϕ0.41		0.5								
ZZJ2-22	串	25%	162	150	29	3	4	696	2	1—8	SBEGB 2-ϕ1.4	1.5				SBEGB 2.24×4.5		2.5		SBEGB 1.8×4.5	150	87	1—44	1	12.5×25
	复														QYϕ0.45	SBEGB 1.8×4.5									
	他														QYϕ0.67		0.797								
ZZJ2-31	串	25%	210	115	27	4	3	642	2	1—8	SBEGB 1.4×3.35	1.5~3.75		80		SBEGB 2.5×5.6		3.5	56	SBEGB 2.5×5.6	180	107	1—54	1	16×32
	复												1446	32	QYϕ0.67	SBEGB 3.15×6.0	0.85		55						
	他												1650		QYϕ1.0		1.59		55						
ZZJ2-32	串	25%	210	150	31	3	3	558	2	1—9	SBEGB 1.8×3.35	1.5~3.75		62		SBEGB 3.55×6.3		3.5	49	SBEGB 3.55×6.3	180	93	1—47	1	16×32
	复												1522	27	QYϕ0.75	SBEGB 3.55×6.3	0.9		48						
	他												1588		QYϕ1.06		1.72		48						

（续）

型号	励磁方式	持续率	电枢 铁心外径 /mm	电枢 铁心长度 /mm	电枢 槽数	电枢 每槽单元数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 槽节距	电枢 线规 /mm	主极 气隙 /mm	主极 他励绕组匝数	主极 串励绕组匝数	主极 他励绕组线规 /mm	主极 串励绕组线规 /mm	主极 他励绕组电流 /A	换向极 气隙 /mm	换向极 匝数	换向极 线规 /mm	换向器 外径 /mm	换向器 片数	换向器 节距	每杆刷数	电刷尺寸 /mm
ZZJ2-41	串	25%	245	180	31	4	2	492	2	1—9	SBEGB 1.76×6.3	1.8 ~4.5		38		TBR 1.08×3.2		4.5	40	TBR 1.56×32	200	123	1—62	2	16×32
		100%												38					40						
	复	25%											1158	19	QYϕ0.85	TBR 1.35×25	1.28		40						
		100%											1423	16	QYϕ0.83		1.06		41						
	他	25%											1301		QYϕ1.12		2.09		40						
		100%											1502		QYϕ1.25		2.06		40						
ZZJ2-42	串	25%	245	240	33	3	2	396	2	1—9	SBEGB 2.12×6.3	1.8 ~4.5		28		TBR 1.25×32		4.5	33	TBR 1.81×22	200	99	1—50	2	16×32
		100%												31					34						
	复	25%											1079	14	QYϕ0.9	TBR 1.25×32	1.24		33						
		100%											1315	13			1.12		33						
	他	25%											1046		QYϕ1.25		2.46		33						
		100%											1272		QYϕ1.30		2.45		33						
ZZJ2-51	串	25%	294	225	31	5	1	310	2	1—9	SBEGB 2-1.35 ×6.9	2~5		28		TDR 2.63×25		5	26	TBR 2.26×22	250	155	1—78	2	16×32
		100%												31											
	复	25%											1351	14	QYϕ1.08	TDR 2.63×28	1.28								
		100%															1.5								
	他	25%											1227		QYϕ1.45		2.9								
		100%															3.51								

（续）

型号	励磁方式	持续率	电枢									主极						换向极			换向器			每杆刷数	电刷尺寸 /mm
			铁心外径 /mm	铁心长度 /mm	槽数	每槽单元数	每元件匝数	总导体数	支路数	槽节距	线规 /mm	气隙 /mm	他励绕组匝数	串励绕组匝数	他励绕组线规 /mm	串励绕组线规 /mm	他励绕组电流 /A	气隙 /mm	匝数	线规 /mm	外径 /mm	片数	节距		
ZZJ2-52	串	25%	294	300	31	4	1	246	2	1—9	SBEGB 2-1.81 ×6.9	2～5		23		TDR 2.63×30		5	21	TBR 3.28×19.5	250	123	1—62	3	16×32
		100%												24											
	复	25%											1125	12	QYϕ1.16	TDR 2.63×50	1.79								
		100%												11			1.8								
	他	25%											1127		QYϕ1.68		3.21								
		100%															4.55								
ZZJ2-62	串	25%	327	330	35	3	1	210	2	1—10	SBEGB 2-2.26 ×7.4	2.5 ～6.25		20		TBR 3.53×35		5.5	18	TBR 4.7×18	280	105	1—53	3	20×32
		100%												21											
	复	25%											1191	9	QYϕ1.3	TBR 3.53×35	1.86								
		100%															1.95								
	他	25%											1022		QYϕ1.95		4.07								
		100%															5.02								
ZZJ2-71	串	25%	368	340	47	2	1	186	2	1—13	SBEGB 2-2.83 ×7.4	2.5～ 6.25		16		TMR 5×35		6	15	TBR 6×18	305	93	1—47	3	2-12.5 ×32
		100%																							
	复	25%											1180	7	QYϕ1.35	TMR 5×35	2								
		100%															2								
	他	25%											1185		QYϕ1.95		4								
		100%															5								
ZZJ2-72	串	25%	368	410	43	2	1	170	2	1—12	SBEGB 2-3.53 ×7.4	2.5～ 6.25		13		TMR 5×35		6	13	TBR 7×18	305	85	1—43	4	2-12.5 ×32
		100%																							
	复	25%											1015	6	QYϕ1.4	TMR 5×35	2.32								
		100%															2.21								
	他	25%											1003		QYϕ2.02		4.88								
		100%															5.04								

（续）

型号	励磁方式	持续率	电枢									主极						换向极			换向器			每杆刷数	电刷尺寸/mm
			铁心外径/mm	铁心长度/mm	槽数	每槽单元数	每元件匝数	总导体数	支路数	槽节距	线规/mm	气隙/mm	他励绕组匝数	串励绕组匝数	他励绕组线规/mm	串励绕组线规/mm	他励绕组电流/A	气隙/mm	匝数	线规/mm	外径/mm	片数	节距		
ZZJ2-82	串	25%	423	430	50	3	1	300	4	1—13	SBEGB 2-2.1×8	3～7.5		13		TMR 6×45		7	12	TBR 7×28	355	150	1—2	5	2-12.5×32
		100%																							
	复	25%											800	6	QYϕ1.62	TMR 6×40	3.44								
		100%															3.36								
	他	25%											725		SBEGB 1.35×3.53		6.5								
		100%															8.5								
ZZJ2-91	串	25%	493	420	42	3	1	252	4	1—11	SBEGB 2-2.63×8	3～7.5		11		TMR 6×45		8	10	TMR 8×25	415	126	1—2	6	2-12.5×32
		100%																							
	复	25%											816	5	QYϕ1.81	TMR 5.5×45	3.44								
		100%															4								
	他	25%											725		SBEGB 1.45×3.53		6.85								
		100%															9.61								
ZZJ2-92	串	25%	493	510	38	3	1	228	4	1—10	SBEGB 2-3.53×8	3～7.5		9		TMR 7×45		8	9	TBR 2～5.1×25	415	114	1—2	6	2-16×32
		100%												10											
	复	25%											740	5	QYϕ1.95	TMR 5.5×45	3.67								
		100%															4.32								
	他	25%											565		SBEGB 1.56×4.4		10.14								
		100%															13.7								

附表 1-7 ZZJ2 系列起重冶金用直流电动机技术数据(440V)

型号	励磁方式	持续率	电枢									主极						换向极			换向器			每杆刷数	电刷尺寸/mm
			铁心外径/mm	铁心长度/mm	槽数	每槽单元数	每元件匝数	总导体数	支路数	槽节距	线规/mm	气隙/mm	他励绕组匝数	串励绕组匝数	他励绕组线规/mm	串励绕组线规/mm	他励绕组电流/A	气隙/mm	匝数	线规/mm	外径/mm	片数	节距		
ZZJ2-41	串	25%	245	180	31	4	4	984	2	1—9	SBEGB 1.6×3.0	1.8~4.5		78		SBEGB 2.44×7.5		4.5	81	SBEGB 2.44×7.5	200	123	1—62	2	16×32
		100%												83					84						
	复	25%											1361	39	QYϕ0.80	SBEGB 2.24×7.5	1.03		81						
		100%											1681	34	QYϕ0.77		0.894		81						
	他	25%											1301		QYϕ1.12		1.981		81						
		100%											1834		QYϕ1.12		1.711		82						
ZZJ2-42	串	25%	245	240	33	3	2	792	2	1—9	SBEGB 2.12×3.15	1.8~4.5		58		SBEGB 2.12×9.0		4.5	65	SBEGB 2.12×9.0	200	99	1—50	2	16×32
		100%												64					68						
	复	25%											1268	29	QYϕ0.83	SBEGB 2.12×9.0	1.06		65						
		100%											1386	26	QYϕ0.83		1.12		66						
	他	25%											1162		QYϕ1.18		2.2		65						
		100%											1386		QYϕ1.25		2.4		66						

（续）

型号	励磁方式	持续率	电枢									主极						换向极			换向器			每杆刷数	电刷尺寸/mm
			铁心外径/mm	铁心长度/mm	槽数	每槽单元数	每元件匝数	总导体数	支路数	槽节距	线规/mm	气隙/mm	他励绕组匝数	串励绕组匝数	他励绕组线规/mm	串励绕组线规/mm	他励绕组电流/A	气隙/mm	匝数	线规/mm	外径/mm	片数	节距		
ZZJ2-51	串	25%	294	225	31	5	2	620	2	1—9	SBEGB 1.35 ×6.9	2～5		61		TDR 1.08×30		5	51	TDR 1.16×18	250	155	1—78	1	16×32
		100%												65											
	复	25%											1351	29	QYϕ1.08	TDR 1.08×30	1.28								
		100%															1.44								
	他	25%											1227		QYϕ1.45		2.79								
		100%															3.25								
ZZJ2-52	串	25%	294	300	31	4	2	492	2	1—9	SBEGB 1.81 ×6.9	2～5		48		TDR 1.35×30		5	40	TDR 1.68×18	250	123	1—62	2	16×32
		100%												47											
	复	25%											1125	23	QYϕ1.16	TDR 1.35×30	1.53								
		100%												20			1.78								
	他	25%											1126		QYϕ1.68		3								
		100%															3.67								

（续）

型号	励磁方式	持续率	电枢 铁心外径/mm	电枢 铁心长度/mm	电枢 槽数	电枢 每槽单元数	电枢 每元件匝数	电枢 总导体数	电枢 支路数	电枢 槽节距	电枢 线规/mm	主极 气隙/mm	主极 他励绕组匝数	主极 串励绕组匝数	主极 他励绕组线规/mm	主极 串励绕组线规/mm	主极 他励绕组电流/A	换向极 气隙/mm	换向极 匝数	换向极 线规/mm	换向器 外径/mm	换向器 片数	换向器 节距	每杆刷数	电刷尺寸/mm
ZZJ2-62	串	25%	327	330	35	3	2	420	2	1—10	SBEGB 2.26 ×7.4	2.5 ~6.25		40		TDR 1.81×35		5.5	35	TDR 2.26×18	280	105	1—53	2	20×32
		100%												43											
	复	25%											1191	20	QYϕ1.3	TDR 1.95×30	1.63								
		100%												18			1.91								
	他	25%											830		QYϕ1.81		4.62								
		100%															5.61								
ZZJ2-71	串	25%	368	340	47	4	1	374	2	1—13	SBEGB 2-1.25 ×7.4	2.5 ~ 6.25		34		TDR 2.1×40		6	28	TBR 2.83×18	305	187	1—94	2	2-12.5 ×32
		100%												32											
	复	25%											1134	16	QYϕ1.3	TDR 2.63×35	1.8								
		100%												14			2.02								
	他	25%											1185		QYϕ1.95		3.4								
		100%															4.02								
ZZJ2-72	串	25%	368	410	43	4	1	342	2	1—12	SBEGB 2-1.68 ×7.4	2.5 ~ 6.25		27		TDR 2.83×32		6	26	TBR 3.28×19.5	305	171	1—86	2	2-12.5 ×32
		100%												25											
	复	25%											1015	13	QYϕ1.4	TDR 2.83×32	2.12								
		100%												11			2.29								
	他	25%											1003		QYϕ2.02		3.8								
		100%															4.65								

（续）

型号	励磁方式	持续率	电枢									主极						换向极			换向器			每杆刷数	电刷尺寸/mm
			铁心外径/mm	铁心长度/mm	槽数	每槽单元数	每元件匝数	总导体数	支路数	槽节距	线规/mm	气隙/mm	他励绕组匝数	串励绕组匝数	他励绕组线规/mm	串励绕组线规/mm	他励绕组电流/A	气隙/mm	匝数	线规/mm	外径/mm	片数	节距		
ZZJ2-82	串	25%	423	430	49	3	1	294	2	1—13	SBEGB 2-2.1×8	3～7.5		25		TDR 2.83×45		7	23	TBR 3.28×28	355	147	1—74	2	2-12.5×32
		100%																							
	复	25%											800	12	QYϕ1.62	TDR 2.83×40	3.14								
		100%															3.31								
	他	25%											725		SBEGB 1.35×3.53		6.26								
		100%															8.56								
ZZJ2-91	串	25%	493	420	43	3	1	258	2	1—12	SBEGB 2-2.63×8	3～7.5		21		TBR 3.8×35		7	19	TBR 4×25	415	129	1—65	3	2-12.5×32
		100%																							
	复	25%											816	10	QYϕ1.81	TBR 4.4×28	3.41								
		100%												9			4.01								
	他	25%											725		SBEGB 1.45×3.53		7								
		100%															8.95								
ZZJ2-92	串	25%	493	510	39	3	1	234	2	1—11	SBEGB 2-3.53×8	3～7.5		18		TDR 3.28×45		8	18	TBR 5.1×25	415	117	1—59	3	2-16×32
		100%												20											
	复	25%											740	9	QYϕ1.95	TDR 3.28×45	3.58								
		100%															4.52								
	他	25%											565		SBEGB 1.56×4.4		9.25								
		100%															13.3								

附表 1-8　我国生产的大中型直流电动机主要技术数据

型号	P_N /kW	U_N /V	I_N /A	n /(r/min)	U_B /V	极数	$J\times10^3$ /(kg · m²)	过载倍数 基速/高速
ZD-380/64	4600	860	5800	80/160	80	20	240	2.5/1.8
ZD-315/142	5750	1000	6340	50/120	100	16	280	2.5/1.8
ZJD310/150-16	4300	800	5900	40/60	57.1 (压降)	16	249.5	2.5/2.0
ZJD285/155-14	4300	800	5780	55/110	100	14	204.1	2.5/2.0
ZZD-285/64	2 ×3250	1000	2 ×3480	90/180	2 ×90	14	2 ×110	2.5/2.0
ZD-2800/1400-14	3900	800	5357	50/100	51 (压降)	14	178	2.5/2.0
ZJD250/145-14	4560	865	5700	70/120	100	12	133	2.5/2.0
ZZJD250/145-12	2 ×2300	1000	2 ×2560	40/80	55	12	264	2.5/2.0
ZJD250/155-14	4250	860	5470	54/100	70	14	130	2.5/2.0
ZJD250/105-12	2800	750	4000	62/120	100	12	105	2.5/2.0
ZD-250/120	2500	750	3690	40/80	95/47.5	12	140	2.5/2.0
ZD2500/1050-12	3600	800	4910	66/122	55 (压降)	12	178	2.5/2.0
ZZJD215/74-10	2 ×3000	800	2 ×4050	180/400	33.7 (压降)	10	45.4	2.5/2.0
ZD-215/40	1000	660	1780	58	55/110	10	26.7	1.8/—
ZJD-180/120-10	1500	630	2670	60/120	55	10	34	2.5/2
ZZ-1800/1300	1800	750	2690	65/130	90	10	36	2.5/2
ZJD-180D/85	1700	660	2790	100/220	100	10	33	2.8/2.2
ZJD150/50-8	2600	750	3690	440/500	220	8	8.8	2/1.6
ZD-150/45	1100	500	2360	230/350	220	8	7.72	1.9/—
ZZJD120/85-6	2 ×1500	800	2080	220/550	110	6	2 ×6.05	2.5/2
ZZJD120/84-8	2 ×1200	2 ×500	2600	195/540	80	8	2 ×5.8	2/1.8
ZD-120/71	1100	550	1960	200/360	60/120	6	4.92	2.5/2
ZD-99/40	1500	750	2125	720/1100	110	8	2.03	2/1.5
ZDT710L	1050	750	1500	300/750	110	6	1.91	2.5/2

（续）

型　　号	电枢绕组			励磁绕组		等　　级（定子/转子）
	绕组型式	导线尺寸/(mm×mm)	每线圈匝数	导线尺寸/(mm×mm)	每级匝数	
ZD-380/64	单蛙	3.53×8	1	2-3.28×30	26	B/B
ZD-315/142	单叠	3.55×22.4	1	4.5×50	28	F/F
ZJD310/150-16	单蛙	3.28×12.5	1	8×50/20 梯形边	18	B/B
ZJD285/155-14	双蛙	2.1×10	1	4.5×40	35	B/B
ZZD-285/64	单蛙	1.95×12.5	1	4×40	39	B/B
ZD-2800/1400-14	单叠	4×22.4	1	3.8×50	27	F/F
ZJD250/145-14	双蛙	2.1×11.6	1	4.5×40	35	B/B
ZZJD250/145-12	单蛙	2.1×11.6	1	8×50	19	B/B
ZJD250/155-14	单叠导槽	3.55×10.6	1	5×40	21	F/F
ZJD250/105-12	单蛙	3.28×10.8	1	4.5×50	35	B/B
ZD-250/120	单蛙	2.8×11.8	1	3.55×45	42	F/F
ZD2500/1050-12	单叠	4×20	1	4.5×50	30	F/F
ZZJD215/74-10	双蛙	2.63×6.9	1	2.44×40	61	B/B
ZD-215/40	双波	3.55×25	1	2×40	75	F/F
ZJD-180/120-10	单蛙	2.44×11.6	1	5×45	32	B/B
ZZ1800-1300	单叠异槽	2.8×10	1	2.36×40	50	F/F
ZJD-180D/85	单蛙	3×10	1	2×45	60	F/F
ZJD150/50-8	双蛙	2.63×8	1	2.63×8	225	B/B
ZD-150/45	单蛙	3.8×86	1	2.44×5.5	240	B/B
ZZJD120/85-6	单蛙	4.42×8	1	4.4×8	129	B/B
ZZJD120/84-8	单叠异槽	4.1×8	1	3.53×8.6	192	B/B
ZD-120/71	单蛙	2-2×8.5	1	2-2.8×6.3	119	B/B
ZD-99/40	单蛙	3.55×6.3	1	2.8×6	84	F/F
ZDT710L	单叠异槽	3.15×7.1	1	3.15×7.1	145	F/F

（续）

型　　号	电　　刷			重量 /t	生产厂	槽数	升高片数	效率 (%)
	牌号	尺寸 /(mm×mm)	每杆刷数					
ZD-380/64	DS-14	2-12.5×32	9	105	上机	370	1110	93.2
ZD-315/142	D37413	2-2×10×32	7	210	上机	488	976	90.7
ZJD310/150-16	DS-14	2-16×32	8	210	哈机	424	848	91.0
ZJD285/155-14	DS-14	2-16×32	10	170	哈机	357	1071	92.0
ZZD-285/64	DS-14	2-20×32	5	177	上机	343	1029	93.4
ZD-2800/1400-14	D214	2-16×32	9	175	哈机	399	798	90.9
ZJD250/145-14	DS-14	2-16×32	12	140	哈机	318	954	92.0
ZZJD250/145-12	D104	2-16×32	5	272	东方	318	954	90.6
ZJD250/155-14	D374	2-16×32	9	145	东方	357	714	90.4
ZJD250/105-12	DS-14	2-16×32	12	113	哈机	318	636	92.5
ZD-250/120	D374	2-16×32(双斜)	6	133	上机	270	810	90.36
ZD2500/1050-12	DS-14	2-16×32	8	146	哈机	318	636	91.7
ZZJD215/74-10	DS-14	2-16×32	8	140	哈机	225	675	94
ZD-215/40	D374B	2-2×10×32	3	34.2	上机	280	560	85.0
ZJD-180/120-10	D214	2-16×32	6	71	东方	195	585	90.2
ZZ1800-1300	D214	2-16×32	6	89	东方	205	615	89.2
ZJD-180D/85	D376N	2-2×8×32	6	64.9	上机	185	555	92.3
ZJD150/50-8	D214	2-16×32	10	28	东方	156	468	94.0
ZD-150/45	DS-74B	2-16×32	6	26	上机	180	360	93.2
ZZJD120/85-6	DS14	2-16×32	8	169	哈机	135	270	94.0
ZZJD120/84-8	D214	2-16×32	8	58	东方	132	264	93.2
ZD-120/71	D374B	2-2×10×32	6	30	上机	129	258	92.9
ZD-99/40	D374B	2-12.5×32	6	17.2	上机	172	344	94.17
ZDT710L	D214	2-16×32	6	10.1	东方	165	330	92.5

附表 1-9　电刷的类别、型号、特征和主要应用范围

类别	型号	基本特征	主要应用范围
石墨电刷	S—3	硬度较低，润滑性较好	换向正常、负荷均匀，电压为 80～120V 的直流电机
	S—6	多孔、软质石墨电刷，硬度低	汽轮发电机的集电环，80～230V 的直流电机
电化石墨电刷	D104	硬度低，润滑性好，换向性能好	一般用于 0.4～200kW 直流电机，充电用直流发电机，轧钢用直流发电机，汽轮发电机，绕线转子异步电动机集电环，电焊直流发电机等
	D172	润滑性好，摩擦系数低，换向性能好	大型汽轮发电机的集电环，励磁机，水轮发电机的集电环，换向正常的直流电机
电化石墨电刷	D202	硬度和机械强度较高，润滑性好，耐冲击振动	电力机车用牵引电动机，电压为 120～400V 的直流发电机
	D213	硬度和机械强度较 D214 高	汽车、拖拉机的发电机，具有机械振动的牵引电动机
	D214 D215	硬度和机械强度较高，润滑、换向性能好	汽轮发电机的励磁机，换向困难、电压在 220V 以上的带有冲击性负荷的直流电机；如牵引电动机，轧钢电动机
	D252	硬度中等，换向性能好	换向困难、电压为 120～440V 的直流电机，如牵引电动机，汽轮发电机的励磁机
	D308 D309	质地硬，电阻系数较高，换向性能好	换向困难的直流牵引电动机，角速度较高的小型直流电机，以及电机扩大机
	D374	多孔，电阻系数高，换向性能好	换向困难的高速直流电机，牵引电动机，汽轮发电机的励磁机，轧钢电动机
	D479		换向困难的直流电机
金属石墨电刷	J101 J102 J164	高含铜量，电阻系数小，允许电流密度大	低电压、大电流直流发电机，如电解、电镀、充电用直流发电机，绕线转子异步电动机的集电环
	J104		低电压、大电流直流发电机，汽车、拖拉机用发电机
	J201	中含铜量，电阻系数较高，电刷含铜量大，允许电流密度较大	电压在 60V 以下的低电压、大电流直流发电机，如汽车发电机，直流电焊机，绕线转子异步电动机的集电环
	J204	中含铜量，电阻系数较高，电刷含铜量大，允许电流密度较大	电压在 40V 以下的低电压、大电流直流发电机，汽车辅助电动机，绕线转子异步电动机的集电环
	J205		电压在 60V 以下的直流发电机，汽车、拖拉机用直流起动电动机，绕线转子异步电动机的集电环
	J206		电压为 25～80V 的小型直流电机
	J203 J220	低含铜量，与高、中含铜量电刷相比，电阻系数较大，允许电流密度较小	电压在 80 伏以下的大电流充电发电机，小型牵引电动机，绕线转子异步电动机的集电环

附表 1-10　电刷的电气性能及试验条件

型号	短路换向器上型式试验							推荐工作条件		
	一对电刷接触电压降/V		50h磨损≤/mm	摩擦系数≤	试验条件			额定电流密度/(A/cm²)	允许圆周速度/(m/s)	电刷单位压力/Pa
	基本值	波动率±%			圆周速度/(m/s)	电流密度/(A/cm²)	电刷单位压力/Pa			
S3	2.1	25	0.20	0.25	15	11	21560	11	25	19600—24500
S6	1.8	25	0.20	0.33		12		12	70	14700—19600
D104	2.4	20	0.25	0.20		12		12	40	14700—19600
D106	2.3	20	0.25	0.25		12		12	40	14700—19600
D172	2.7	20	0.20	0.25		12		12	70	14700—19600
D172NM	2.1	20	0.20	0.20		12		12	70	14700—19600
D202	2.5	25	0.15	0.25		10		10	45	19600—24500
D213	2.6	25	0.15	0.25		10		10	40	19600—39200
D214	2.4	25	0.15	0.25		10		10	40	19600—39200
D215	2.8	25	0.15	0.25		10		10	40	19600—39200
D252	2.5	25	0.15	0.25		12		12	45	19600—24500
D280	2.5	25	0.20	0.25		12		12	60	14700—24500
D308	2.6	35	0.15	0.25		10		10	40	19600—39200
D308L	3.0	35	0.15	0.25		10		10	40	19600—39200
D309	2.9	35	0.15	0.25		10		10	40	19600—39200
D312	2.1	35	0.20	0.25		12		12	50	19600—39200
D374	2.7	35	0.25	0.25		12		12	50	19600—39200
D374B	2.8	35	0.25	0.25		12		12	50	19600—39200
D374D	2.6	35	0.20	0.25		12		12	50	19600—39200
D374F	2.7	35	0.20	0.20		12		12	50	19600—39200
D374L	2.9	35	0.12	0.20		12		12	50	19600—39200
D374BL	2.8	35	0.15	0.20		12		12	50	19600—39200
D374DL	3.4	35	0.15	0.25		12		12	50	19600—39200
D374N	2.8	35	0.20	0.20		12		12	60	19600—39200
D374S	2.8	35	0.20	0.20		12		12	50	19600—39200
D376	2.9	35	0.25	0.25		12		12	50	19600—39200
D376N	2.9	35	0.20	0.20		12		12	60	19600—39200
D376y	2.9	35	0.20	0.20		12		12	50	19600—39200
D464F	2.5	25	0.15	0.25		10		10	40	19600—39200

（续）

型号	短路换向器上型式试验							推荐工作条件		
	一对电刷接触电压降/V		50h磨损≤/mm	摩擦系数≤	试验条件			额定电流密度/(A/cm²)	允许圆周速度/(m/s)	电刷单位压力/Pa
	基本值	波动率±%			圆周速度/(m/s)	电流密度/(A/cm²)	电刷单位压力/Pa			
D479	2.0	25	0.25	0.25		12	21560	12	40	19600—39200
J100	≤0.5	—	0.80	0.25		20		20	20	17640—22540
J101	0.25	40	0.80	0.20		20		20	20	17640—22540
J102	0.5	40	0.40	0.20		20		20	20	17640—22540
J103	0.5	40	0.40	0.20		20		20	20	17640—22540
J104	0.25	40	0.80	0.25		20	17150	20	20	17640—22540
J105	≤0.4	—	0.80	0.25		20		20	20	17640—22540
J113	≤0.5	—	0.60	0.20		20		20	20	17640—22540
J151	0.30	40	0.60	0.20		25		25	20	17640—22540
J164	0.30	40	0.70	0.20		20		20	20	17640—22540
J201	1.5	45	0.18	0.25		15		15	25	14700—19600
J203	1.8	35	0.15	0.25	15	12		12	20	14700—19600
J204	1.1	45	0.30	0.20		15		15	20	19600—24500
J205	≤2	—	0.50	0.25		15	19600	15	35	14700—19600
J206	1.5	35	0.30	0.20		15		15	25	14700—19600
J213	0.7	45	0.40	0.20		15		15	20	19600—24500
J220	1.4	35	0.20	0.26		12		12	20	14700—19600
R051	3.7	30	0.15	0.25		8		8	40	14700—19600
R104	3.7	30	0.15	0.20		10		10	35	24500—34300
R126	2.8	30	0.15	0.25		8		8	35	19600—24500
R155	4.0	30	0.15	0.25		8	21560	8	40	14700—19600
R201	4.0	30	0.15	0.20		8		8	35	24500—34300
R453	5.3	30	0.15	0.25		5		5	40	14700—19600
R1270	6.8	30	0.15	0.25		5		5	40	14700—19600

附表 1-11　电刷刷体与引出线的联接电阻

刷体截面积/mm²	联接电阻/Ω		
	石墨、电化石墨及金属石墨电刷	含浸渍剂电刷	人造树脂粘结剂电刷
<25	0.010	0.012	0.020
25～50	0.008	0.010	0.016
50～100	0.005	0.008	0.010
100	0.004	0.004	0.008

附表 1-12　电刷引线的脱出拉力

电刷软接线标称截面 /mm²	0.06	0.1	0.15	0.20	0.25	0.35	0.50	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5	3.2	4	6	8	10	12.5	16
脱出拉力 /N(≥)	9.8	9.8	9.8	19.6	19.6	19.6	29.4	39.2	49	58.8	68.6	78.4	78.4	98	117.6	117.6	117.6	137.2	137.2	137.2

参考文献

[1] 机械工程手册电机工程手册编委会．电机工程手册:第21篇直流电机[M]．北京:机械工业出版社,1982年．

[2] 冶金部自动化所．大型电机的安装与维修[M]．北京:冶金工业出版社,1978年．

[3] 赵家礼,等．电机故障诊断修理手册[M]．北京:机械工业出版社,2000年．

[4] 沈俊杰,直流电机的维护与修理[M]．北京:机械工业出版社,1984年．

第二章　牵引电动机修理

第一节　概　　述

牵引电动机指用于驱动各种机车、车辆的电动机，常分为主牵引电动机和辅助牵引电动机。主牵引电动机直接驱动轮时，使机车、车辆能前进或后退；后者是指装于其上的用于驱动空气压缩机、通风机、辅助电源发电机等的电动机。

各种机车、车辆，例如干线电力机车、电传动内燃机车、电动轮自卸车、工矿电机车、蓄电池叉车和搬运车、城市无轨与轻轨电车及地铁电动车组所用的牵引电动机和辅助牵引电动机，虽然它们的功率范围和特性要求有所差异，但其设计结构和制造工艺是相近的，且均按照 JB6480—92“旋转牵引电机基本技术条件”、“TB/T2436—93 铁路机车车辆用旋转电机通用技术条件”和“JB/DQ5119—92 蓄电池车辆用直流电动机基本技术条件”设计和制造。本章虽把阐述重点和实例主要放在铁道干线电传动内燃机车、工矿电机车和蓄电池车辆用直流牵引电动机上，但所介绍的故障现象和修理方法，同样也适用于其他各种机车和车辆用牵引电动机。

一、牵引电动机的分类

目前常用的牵引电动机，本质上是一种广调速的直流串励电动机，其工作原理及基本结构与一般直流电动机相同。牵引电动机的分类方法很多，表 2-1 列出的是按机车类别和供电方式来划分的，其中交流变频调速异步电动机系统，能省去起动电阻，实现无能耗起动，而且可以不用换向器，因而这种交流牵引电动机运行可靠，维护简单，制造方便，较易实现无维护或少维护，是一种有发展前途的调速系统。

表 2-1　牵引电动机的分类

机车类别	电　源	电压/V	牵引电机类别	调速特点
窄、准轨电机车有、无轨电车	架线供电	直流 250，550，750，1500	ZQ 系列直流牵引电动机	1）串联电阻降压调速 2）晶闸管斩波调压调速可无级起动与节能
		直流 600		
地铁电动车	第三轨或架线供电	直流 750		
交流准轨电机车 干线 工矿	架线供电	交流 6000，10000 交流 25000	ZQ 系列脉流牵引电动机或异步牵引电动机	1）变压器抽头调压调速 2）晶闸管整流器调速 3）晶闸管逆变器变频调速
电传动内燃机车	柴油发电机	直流或三相整流，电压无规定	ZD，ZQDR 系列，恒定输入直流牵引电动机	调节发电机励磁的恒功率调压调速与削弱磁场调速相结合
电动轮自卸卡车	柴油发电机			
燃气轮机车	燃气轮发电机			
蓄电池工矿电机车	蓄电池	直流48 56 90 140 192	矿用直流隔爆牵引电动机 ZQB 或 ZXQB 系列	1）电池组抽头调速 2）串联电阻降压调速 3）电机磁场削弱 4）电机串、并联转换 5）晶闸管斩波调压

（续）

机车类别	电　源	电压/V	牵引电机类别	调速特点
蓄电池叉车、搬运车	蓄电池	直流22 45 67 90	XQ 或 ZXQ 系列直流牵引电动机	1）电池组抽头调速 2）串联电阻降压调速 3）电机磁场削弱 4）电机串、并联转换 5）晶闸管斩波调压

二、牵引电动机的工作特点

为满足机车的牵引性能、安装维护和运行环境的需要，达到多拉快跑的目的，牵引电动机的特殊要求及具备的工作特点列于表 2-2。

表 2-2　牵引电动机的特殊要求及工作特点

分类	特　殊　要　求	工　作　特　点
牵引性能	1）电动机的转矩（或电流）与转速的特性曲线接近于双曲线	1）大多采用直流串励电动机，因它本身具有软特性，能自然满足牵引特性要求。对于电力机车来说，负荷的变化较大，例如在满载或上坡时，负载增大，电机转速下降较多，使输出功率的增加较小；反之，当机车负载较小时，电机转速随之增加，输出功率的下降也就较少，所以在轻载时，也能较好地发挥机车的功率。近代已可借助电子技术，用他励直流电动机或交流异步电动机调制出所需的理想牵引特性
	2）宽广的调速范围，通常达 2 ~ 4 倍	2）常用电阻调压和磁场削弱法调速，自供电的机车常用调压调速并要求电压、电流间呈双曲线关系，称为恒功率调速。近代采用晶闸管斩波器调压，可以节省电能 20% 左右，如配合采用高特性电动机（额定转速接近于最大转速的电动机），就可不用削磁调速，节省了削磁控制电器，并使调速的大部分范围内都可保持额定转矩，使列车的加速时间大为缩短
	3）能实现电制动	3）要求牵引电动机能在高速下转变为发电机状态运行，能产生较大倍数的过电压和过电流，因此牵引电动机要有高的电气强度和好的换向性能
	4）多台牵引电动机装于同一台机车时，要求它们之间的负载分配均匀	4）要求成批生产的牵引电动机的特性曲线一致，在全磁场和削弱磁场级上，转速的偏差在 ±3% ~5% 范围内，并与最初试制时的典型速率特性曲线相一致，为此在制造中应严格控制磁路部分的各种材料，控制铁心叠压，空气隙大小，机座加工等的偏差
	5）机车经常要正、反向双向运行，因此两方向应有相近的转速特性曲线	5）要求刷握固定可靠，不许有松动脱落，在运行过程中电刷应始终处于物理中性线上。结构上应尽量采用旋转或其它可调的刷架，以利于转速的调整，修理时刷架圈松动旋转后，应重新恢复到原位（通常有专用定位销或其它明显标记）。定子修理或重装时应保证原来制造厂调整好的各种气隙及磁路各部分尺寸，电枢也尽可能不要互换
	6）具有大的起动转矩和过载能力	6）一般牵引电动机要求允许短时过电流 1.7 ~ 2 倍，过转矩 2.5 倍，蓄电池叉车为了能爬大的坡道，更要求短时过电流 3 倍，过转矩 4.5 倍，因此在电动机设计时，必须选取合适的发热、磁路和换向参数，确保在过电流、过转矩时电动机不致损伤。在结构上，换向器与电枢线圈端头之间必须焊接牢固，不可有虚焊、假焊。近代已普遍采用氩气保护钨极电弧焊，也称 TIG 焊，它有足够的耐热性和高的机械强度，良好的导电性和较小的热影响区，比锡钎焊可靠得多

（续）

分类	特 殊 要 求	工 作 特 点
运行环境	1）有轨运输的冲击振动很大。簧下部分的冲击加速度达重力加速度的 15～25 倍	1）电动机零部件应有足够的机械强度，因此端盖、机座、套筒、压圈等结构件都用铸钢或钢板件。各零部件必须固定牢靠，全部紧固件必须有可靠的防松措施。换向器的动态整体性要好，一般要在回转加热状态下进行动压成型。主极和换向极线圈与其铁心之间要用绝缘件填塞紧密或胶化，防止振动及摩擦使绝缘破损，高度方向常加弹性垫片以求压紧，近年常用带铁心整体浸漆工艺，以改善散热和抗振性。电枢线圈槽部和端部应固定牢靠，绑扎要牢固，可用填充泥将端部线圈的间隙填满。电刷的单位压力比普通直流电机要高，电刷单块的截面应尽量小，高速双向运行的牵引电机还常用分裂电刷结构。牵引电动机各零部件间的配合公差见附表 2-4
	2）牵引电动机经常在恶劣的环境中运行，灰尘和雨雪进入电动机内部，有时有害气体会对绝缘产生溶蚀作用，井下工作的牵引电动机常在高湿度下工作，极易受潮	2）电动机应能防止灰尘、雨雪侵入内部，应选用与周围环境条件相适应的防护型式的电动机。绝缘零件要经浸漆处理并刷耐弧瓷漆；金属零件非配合表面要电镀或刷漆防锈；线圈之间的空隙，要用填充泥或绝缘漆填满，电枢表面应光洁和密封，无纬带最好包扎到换向器升高片上，防止炭粉和潮气侵入，最后整个电枢采用真空压力浸漆。井下用牵引电动机常采用防护型式好的封闭自冷结构，地铁用牵引电动机常采用带内扇冷的自通风结构，绕组均按湿热带型（TH 型）电动机的要求处理。强迫通风的电动机，冷却空气要经滤清处理。煤矿井下用小型蓄电池式矿用安全型和特殊防爆型电机车、爆炸性混合物场所用的蓄电池叉车上的牵引电动机，均采用隔爆型，组成其外壳的所有结构部件如机座、端盖、轴承盖和盖板等，需承受一定的压力试验，此外还要严格控制各接合面的长度、间隙和粗糙度等，与其使用场所和爆炸性混合物的传爆能力大小有关，隔爆型也是一种封闭自冷的结构
	3）架线供电的机车，受电器常有脱线现象，造成电压和电流的瞬时冲击	3）电动机制造时应进行接上和断开电源的试验，电动机必须经受这些试验而无任何机械损坏、变形、环火和飞弧或者影响到试验后正常运转的损伤，为此应特别加强各绕组的匝间绝缘
	4）钢轨上有水分及油污时，个别车轮易产生打滑空转甚至飞速	4）空转轮对上的牵引电动机，反电势迅速增大，电流减小，使其它电动机产生相当大的电流。空转电动机，则由于电压增高，发生强烈火花，另外空转电动机的转速增高，使离心力增大，引起电枢绑扎断裂。所以除机车采用空转保护外，电动机本身应能承受 1.2～1.35 倍最大转速的超速试验，换向器单独超速时还应提高 5%～10%
	5）由单相整流器或直流斩波器供电的牵引电动机，其电流脉动系数一般为 0.2～0.3	5）应采取改善脉流换向的措施，常用的方法有叠片式换向极铁心，叠片式机座磁轭，机座内壁加磁桥和换向极第二气隙用绝缘垫片等
安装与维护	1）牵引电动机在机车上安装空间很紧凑，特别是采用抱轴式悬挂时，受轴距、轨距及车架高度三个方向的限制，使在有限的空间内要设计出功率尽可能大的电动机	1）为使牵引电动机在有限的容积内具有更大的功率，使机车达到多拉快跑的要求，电动机各绕组的允许温升较一般电动机高，故其发热引起的热老化寿命较一般电动机短，牵引电动机定为五年。牵引电动机各部位的允许温升见表 2-5 早期生产的牵引电动机，由于所用的绝缘材料较差，为了尽可能充分利用空间而常设计成八角的外形，但其加工工艺性较差

（续）

分类	特殊要求	工作特点
安装与维护	2）除要求结构固定牢靠外，还要求便于检查维护和更换易损零件。近年国外牵引电动机已向两次大修期间无维护化发展	2）中小牵引电动机为使维护检查和更换电刷方便，常采用非全额电刷，即4极电动机只采用2只刷架，并放置在上方的视察窗处。也有将刷握装置装在可以旋转的刷架圈上，并有定位销或明显标记，以方便修理旋转后的复位，此时机座的上、下方都开有视察窗孔，便于在车上或在地沟内检查或更换炭刷 端盖、轴承盖和油封等都要考虑装拆方便，应采用更合理的油封结构，使在两次大修期内不需加油。刷握结构中采用恒压弹簧、长电刷和耐磨性好的换向器梯排，尽可能采用不需维修的永久性结构部件，为实现少维护和无维护提供条件

三、牵引电动机的基本技术要求

1. 电源电压

它应能适应规定的在电动机出线端上允许出现的电压值。由电网供电的牵引电动机，受同时运用机车台数及与变电所之间距离变动等原因的影响，使牵引变电所的负载变化很大，电网电压的波动范围也大，按规定，直流电力牵引电压波动为额定值（见表2-3）的67%～120%，为此，牵引电动机在设计和制造时，应采取有效措施，以适应剧烈的电压波动。

表2-3　直流电力牵引电压系列

牵引变电所母线电压/V	电机车受电器的电压/V		
额定值	最小值	额定值	最大值
3300	2000	3000	3600
1650	1000	1500	1800
825	500	750	900
600	375	550	660
275	170	250	300

2. 最大过载电流

牵引电动机应能承受频繁地起动和剧烈的过负荷冲击，此时的转矩可达到额定值的2～2.5倍，蓄电池叉车和搬运车用的直流主牵引电动机更高，达4～4.5倍。此外，为能在电网电压降到下限时能满足在整个牵引特性的范围内的运行要求，电动机应能承受的最大过载电流见表2-4，换向火花不超过2级。

表2-4　直流牵引电动机的最大过载电流

牵引电动机种类	最大过载电流	试验时间/s
干线牵引电动机	$1.7I_N$	正、反向各30
辅助牵引电动机	$1.5I_N$	60
蓄电池叉车、搬运车用主电动机	$2\sim3I_N$	正、反向各30
其它牵引电动机	$2I_N$	正、反向各30

注：I_N——电机额定电流。

3. 允许温升

对于用不同耐热级别绝缘材料的电动机部件，在试验台上测得的温升限值列于表2-5。

表2-5　电动机绕组和换向器的温升限值　　（K）

电动机的部件	测量方法	绝缘等级				
		E	B	F	H	200
定子绕组，同步发电机和电动机的旋转磁场绕组	电阻法	115	130	155	180	200
所有其他旋转绕组	电阻法	105	120	140	160	180
换向器、集电环	电温度计法	105	120	120	120	120
笼型转子绕组、阻尼绕组	电温度计法	温升应以不损害邻近绕组或其他零部件为限				

注：200级即通常所指的C级绝缘。

对于封闭式电动机的各部件允许温升极限值，可比上表的规定值提高10K。

当环境温度在40℃及以下时，滚动轴承温升值为55K，或温度限值为95℃，如滚动轴承和润滑脂的技术条件允许其温度限值超过95℃时，则该滚动轴承的温度限值，可在产品技术条件中另行规定。

4. 换向

直流或脉流牵引电动机的换向试验应在实际热状态下进行，单方向运转电动机的试验在规定的运转方向进行。每一换向试验工况应持续1min。双方向运转的电动机每一试验工况应在两个方向上各运转30s。在第二个方向换向试验之前，允许先用不超过额定的电流在额定电压下在第二方向运转5min，使电刷获得较好接触，但不得移动电刷位置。每一工况试验的换向火花等级，不应超过表2-6，及2-7的规定，且无机械损坏、闪络、环火及影响电动机正常运转的永久性损伤。对用于再生制动或电阻制动的牵引

电动机，应选择制动特性上换向条件最困难的工况来进行。辅助牵引电动机的换向工况和允许的火花等级见表 2-8。

表 2-6　电力机车牵引电动机换向试验工况和允许火花等级

项次	电压	电流	转速	磁场级	允许火花等级
1	最高电压	最大电流		最大磁场级	2
2		最大电流		最深削弱磁场级	2
3		额定电流		最大磁场级	$1\frac{1}{2}$
4		额定电流		最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
5			最高转速	最深削磁级	$1\frac{1}{2}$

表 2-7　热电力机车用牵引电动机换向试验工况和允许火花等级

项次	电压	电流	转速	磁场级	允许火花等级
1	额定低电压	额定低电压下的额定电流		最大磁场级	$1\frac{1}{2}$
2	额定低电压	额定低电压下的额定电流		最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
3	与最大电流的乘积等于额定输入功率时的电压	最大电流		最大磁场级	2
4	额定高电压	额定高电压下的额定电流		最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
5	额定高电压		最高转速	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$

表 2-8　辅助牵引电动机的换向试验工况和允许火花等级

项次	电压	电流	转速	磁场级	允许火花等级
1	最高电压		最高转速	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
2	最高电压	额定电流		最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
3	最高电压	最大电流		最大磁场级	2

5. 超速

牵引电动机在热状态下应能承受 2min 的超速试验。试验后电动机各转动部件（如电枢线圈、绑扎、槽楔、轴承及换向器等）应无任何影响电动机正常运转的机械损伤和永久变形，超速试验要求见表 2-9。

表 2-9　直流牵引电动机的超速试验要求

电机类别	运行情况	超速转速 n_T
主牵引电动机	单台电动机拖动整台机车或正常运行时全部电动机并联	$1.25n_{max}$
	数台电动机装于同一机车，有自动保护装置，防止过速或有机械联锁装置防止各电动机间发生转速差异	$1.2n_{max}$
	无自动保护或机械联锁装置，两台电动机固定串联联接	$1.35n_{max}$
辅助牵引电动机		$1.25n_{max}$

注：n_{max} 为考虑轮箍半磨耗后，相应在机车最大速度时电动机的最大转速。

6. 转速特性

电动机转速和电枢电流的关系曲线（取两个方向转速的平均值）称为转速特性曲线。此项试验应在电动机热态下各绕组温度接近基准工作温度时进行测定，对所有级别的绝缘材料均以 115 ℃ 作为绕组的基准工作温度。

早期生产的牵引电动机，仅要求在额定电流下任一方向的转速与规定转速的偏差在 ±5% 范围内，近期生产的牵引电动机则要求整条转速特性曲线（至少为三个点）与设计转速特性曲线一致，最初试制生产的 10 台电动机的曲线的平均值称为“典型转速特性曲线”，并以此作为以后批量生产时检查试验的依据。当同一型号的电动机由几个工厂制造时，则要求其典型转速特性曲线一致，以保证多台牵引电动机并联运行时的负载分配均匀，以提高使用可靠性。我国成批生产的东风-4 型 4000hp 内燃机车上装用的 ZQDR-410 型牵引电动机，则更要求将转速偏差值分成 7 个组，每台机车上的 6 台电动机的转速实测值为同一组，以保证机车上各牵引电动机支路内电流分配均匀。牵引电动机的转速容差见表 2-10。

此外，对额定工况下两方向转速的差值，也要求在额定电压、额定电流和最大磁场级时，牵引电动机两个方向的转速差值对此两方向转速的算术平均值的百分数容差为不超过 3%。

表 2-10　牵引电动机的转速容差

励磁率	设计容差		制造容差	
	要考核的最高转速极限下 ±%	要考核的最低转速极限下 ±%	要考核的最高转速极限下 ±%	要考核的最低转速极限下 ±%
最大磁场级	5	3	3.5	3
在 100% 到 50% 满磁场之间的削弱磁场级	6	4	5	3
小于 50% 满磁场的削弱磁场级	7	5	7	5

注：电动机的额定功率不超过 75kW 时，按表内基数另加 1% 的容差。如用户和制造厂达成协议，则当电动机额定功率为 15kW 及以下时按上表内基数另加 2% 的容差。

7. 绝缘介电强度试验

牵引电动机的各绕组应能在热态下承受 60s 的工频绝缘介电强度试验（即耐电压试验）。应无闪络击穿现象，试验电压值规定如下：

1）直接或间接由接触网供电的绕组，额定电压在 600V 及以上时，耐电压试验的有效值按 $2.25U_N+2000V$。额定电压在 600V 以下时，按照 $2U_N+1500V$ 计算。

2）对交流接触网供电的绕组，试验电压值（有效值）按 $2.25U_N+2000V$ 计算。

3）对不是直接或间接由接触网供电的绕组，按 $2U_N+1000V$，最低为 1500V。

4）对蓄电池车辆用直流电动机，当蓄电池的标称电压为 48V 及以下时，耐电压试验值为 500V，对 48V 以上为电动机绕组为 1000V。

耐电压试验对绕组绝缘具有一定的破坏性，因此不宜重复多次进行。如必须进行复试时，应比上列规定值降低 15%。对修理后使用的绕组，应比上列规定值降低 25%。

8. 绕组匝间绝缘介电强度试验

本项试验又称短时升高电压试验，用 1.3 倍额定电压值（对电传动内燃机车用电机，指对应于主发电机额定高电压时之值）下进行 3min 的升高电压试验，匝间绝缘应不击穿，试验时电机在空载状态下进行。

9. 电动机绕组在热状态时的绝缘电阻

电动机绕组在热状态时的绝缘电阻应不低于下式所求得的值：

$$R=\frac{U_N}{1000} \tag{2-1}$$

其中 U_N 为电动机的额定电压。绝缘电阻最小不低于 0.5MΩ。

四、牵引电动机安全使用的极限条件

为了提高牵引电动机的使用可靠性并延长其工作寿命，必须注意以下四个极限条件。

1. 发热强度极限

为了将电动机带电部件与机座、铁心等接地部件隔开和将电位不同的各带电部位隔开，电动机各部分使用了多种绝缘材料。电动机在运行中发热，使受到剧烈的温度变化和长时期的热作用，其绝缘性能逐步变坏直至完全丧失而击穿。因此，绝缘结构的热老化是使绝缘材料损坏的主要原因。为使牵引电动机在规定寿命期限内可靠运行，必须针对各种不同型式、不同结构、不同通风方式的牵引电动机选用不同的绝缘等级，从而规定出合适的发热强度极限，以期达到安全使用寿命的目的。

但是材料和结构单纯以其耐热性区分的观点是不全面的，为了充分发挥绝缘材料的特性，提高经济合理性，应按电动机的不同绝缘部位所达到的最高实际温度，结合材料的机械、化学、物理性能综合考虑，有区别地选用绝缘结构中的各种组成材料，而不必苛求不分使用部位而一律选用所规定的同一绝缘等级的材料。

习惯上以负载电流的大小间接表征牵引电动机在实际运行中的发热。为了充分利用牵引电动机的发热强度，可以通过牵引计算与发热校验，以不超过表 2-5 中列出的温升为界限，因此在实际运行中短时超过铭牌上所规定的额定电流是允许的。

在修理时，采用彻底清扫散热表面，绕组与铁心间做成密封的整体绝缘并整体浸渍，则将大大改善电动机散热，提高电动机的负载能力。

2. 电气强度极限

据我国铁道干线机车牵引电动机损坏原因统计，绝缘材料的自然老化并不是引起电动机接地故障的主要原因（除大坡道区段的个别电枢外），主要是由于振动、过电压冲击、固有损伤等原因造成绝缘材料机械损伤所致，这一情况对牵引负荷往往不足的窄轨工矿小机车牵引电机而言，而更是如此。在强烈的振动作用下，绝缘层是逐步破损的，特别是在电枢线圈出铁心槽口及定子线圈内孔与磁极铁心间，空气中的炭粉、铜粉、铁粉等侵入绝缘层的机械破损处，逐步构成向内深入的导电通路，在高电压场强作用下，绝缘材料内部气隙中发生电离放电，体积传导电流迅速增大，直至耐电压击穿。

为了提高牵引电机各绕组的耐压强度，最重要的是选取合适的绝缘结构及其组成材料，采用可靠的绝缘工艺并按规程进行整机及零部件工序间的耐压试验，详见附录表 2-5。

3. 换向强度极限

换向通常是直流电动机运行中的薄弱环节，它在很大程度上限制了直流牵引电动机的功率、短时过负载能力、转速限值及最大磁场削弱深度。因换向不良造成强烈火花或环火面烧损，约占牵引电动机总故障的三分之一。

剧烈的振动冲击，恶劣的环境条件（油污、灰尘侵入）及使用维护不当是造成各类牵引电动机换向不良的三个主要原因。据估计，全国各矿山在用的牵引电动机，换向器表面色泽正常、换向良好的，只占到总台数的 20%，往往在制造厂试验台上，各工况下换向性能优良的电动机，装车运行后不久，火花即明显增大，就是这些原因造成。所以，为提高各种牵引电动机的换向强度极限，除在电动机设计时控制好各换向参数外（如电抗电势、换向电势及补偿、换向器最大片间电压、火花因素、换向区占中性区的百分比等），精心的制造工艺质量及正确的使用维护，也是不容忽视的重要因素。

牵引电动机在运行中需控制的主要换向参数及运行参量间的关系见表 2-11。

4. 机械强度极限

机械强度极限主要指电动机的旋转部分（电枢及其绑扎、槽楔、轴承等）所能承受的最大转速时的应力及强度的限值，它主要受材质、基础件水平及电机制造工艺水平的限制。为确保安全运行，除精心设计和制造这些旋转部件外，在使用中，在任何工况下都不应超过最大工作转速，特别是在下坡道上滑行的机车，常只注意脱离电的接触，运行速度越来越快，易造成电枢甩散飞箍或轴承碎裂。

表 2-11 控制的主要换向参数与运行参量关系

控制的主要换向参数	需控制的运行参量
1. 换向元件中的电抗电动势 e_R 正比于 $n \cdot I$	1. $n \leq \eta_{max}$ $I \leq I_{max}$
2. 换向器片间最大电压 $U_{kmax} = \frac{U_{kcp}}{\alpha_i}\left(1 + 0.7\alpha_i \frac{AW_{ar}}{AW}\right)$ 式中 U_{kcp}—平均片间电压 α_i—计算极弧系数 AW_{ar}—电枢反应磁势 AW—负载总磁势	2. 换向器片间云母厚为 0.8mm 时，U_{kmax} 不大于 35V，当片间云母厚为 1.15mm 时，U_{kmax} 不大于 45V。对小功率辅助牵引电动机，极限允许值≤65V。 磁场削弱系数 $\beta = \frac{磁场电流}{电枢电流}$ $AW = \beta AW$ 因此 β 不得小于允许的 β_{min}
3. 火花因数 Ψ_N $\Psi_N = C\left(\frac{40}{D_K}\right)\frac{1.5 i_y^2 L_C v_K \times 10^2}{2\beta_K L_S}$ 式中 L_C—当量电感，整流元件的自感量和互感量之和，H i_y—被短路的换向元件内产生的环流，A D_K—换向器工作面直径，cm β_K—换向片距，cm L_S—每刷握电刷总长，cm v_K—换向器工作面线速度，m/s C—当量电感增大倍数，$C = \frac{p}{p_s}$	3. 对中小型牵引电动机，当 $\Psi_N < (5 \sim 10)10^{-2}$ 时，可以得到满意的换向 根据目前的制造工艺水平，v_K 以不超过 50～60m/s 为宜 C 即磁极对数和刷握对数之比，当采用金额电刷时，$C = 1$

（续）

控制的主要换向参数	需控制的运行参数
4. 电位梯度：即换向器单位圆周长度上的最大电压 $\varepsilon_M = \frac{U_{kmax}}{\beta_K}$ （V/cm）	对一般牵引电动机、考虑过电压后的极限值为 80～90V/cm

五、牵引电动机的正确使用和维护

1. 正确操纵机车

由于机车驾驶员的操纵不正确和维修人员处理不当而造成牵引电动机的故障和损伤是经常发生的，因此在阐述故障修理方法的同时，提出一些机车操纵上的注意事项，以尽可能做到预防故障的发生，是十分必要的，机车操纵时的注意事项见表2-12。

2. 加强日常的检查和维护

由于牵引电动机的工作条件和运行环境十分恶劣，经常进行检查和维护，可以大大减少电动机的故障，延长使用寿命和获得好的经济效果。日常检查和维护内容见表2-13。

表2-12 机车操纵时的注意事项

操纵工况	注意事项
起动过程中	1）制动手柄必须放到缓解位才许起动，以免电动机过载 2）起动手柄应退到零位后，才能合闸起动，并应平稳地逐步加速，在电动机电流未降到一定值之前，不要继续换档，以免电流及力矩冲击过大 3）不要长时间停留在串联电阻的起动级上，以免电阻过热和浪费电能 4）发现车轮空转打滑，应迅速将司控调速手柄退到零位。切勿预防轮对空转，而在司机控制器手柄未退到零位前就进行制动，造成电动机过载 5）如接触网电压过高或过低时，不宜起动机车，应等待电压恢复到规定范围内后再起动
调速和运行过程中	1）注意在任何工况下，不得超过最大速度运行，以免旋转部件产生机械损伤 2）发现电气仪表读数不正常或有异常声响或气味，应及时停车检查，不宜"带病"运行 3）尽可能把调速手柄放在不串电阻的经济速度级上使用 4）下坡行驶必须制动限速，不许落下受电弓听其情行 5）在高运行位置或大电流时，连续进行磁场削弱会造成大电流冲击，严重时会引起环火 6）在切除部分牵引电动机后，仍长时间超载运行，使电动机绝缘加速老化，电动机换向恶化 7）轮对发生空转，过大的离心力会引起换向器变形或凸片，产生很大的机械火花 8）调速手柄未退到零位时，切勿将受电弓拉下或重新升上，以免产生很大的电流和牵引力的冲击
制动过程中	1）调速手柄必须退到零位后，方可进行制动，以免造成电动机过载或烧损 2）应严格按规定的最高制动速度以下使用电制动，因为过高的速度下投入电阻制动，会产生过高的制动电压和制动电流而烧损电动机 3）禁止使用反接制动（即逆电流法）使电动机反转来制停机车。若在机车前进时，突然把手柄扳向后退位，改为反接，则将造成极大的电流冲击和过转矩，易使转轴断裂，打坏齿轮，甚至烧损电动机
反向及其他情况	1）需反向运行时，必须先制停机车，然后才可扳动反向器手柄，再进行反向起动 2）不要用电机车去拉出了轨的列车，以免电动机过载而烧损 3）牵引电动机受潮后，应烘干后再用，以免击穿绝缘 4）换向器发生环火后，必须进行仔细地检查和清理，以免故障扩大 5）发现轴承窜油，要找出原因修好再用，以防油污降低绝缘，导致击穿 6）抱轴瓦温度过高或漏油时，应及时检查修理，以免烧瓦和烧轴 7）电刷磨到限度时，必须及时更换，以免烧损换向器

表 2-13　日常检查及维护内容

检查维护分类	日常检查及维护内容
需日常观察的部位	1）观察换向器上电刷滑过的表面，其氧化膜色泽是否为闪亮的棕色，如表面颜色不正常，有较严重烧伤痕迹等应分析原因并作出处理 2）检查电刷是否有碎裂，必要时应予更换。如刷辫线变色，则应检查刷辫固定处是否松动，常见原因是用碳粉填塞处松脱或固定刷辫铆钉松动 3）检查刷杆固定是否有松动、开裂和电气击穿，表面是否清洁 4）检查电动机内部各表面是否清洁，有无轴承甩润滑脂和轴伸端油封窜油现象 5）检查牵引电动机内部是否有油、水从通风管道内进入电动机内部
需经常清扫的部位	1）用高压风清除积聚在换向器片间云母沟槽中的碳灰和油污 2）用酒精浸洁净的布擦拭整个换向器工作面 3）擦净刷杆上的油污和积灰 4）电动机进风口与出风口处如有灰尘、油污积聚、造成局部堵塞，应及时清理
需定期检查的部位	1）检查各电刷的磨耗情况，如已到限或影响压指压紧电刷到换向器工作表面时，应予更换 2）检查换向器片间云母下刻情况，深度是否符合原设计要求，换向片两侧倒角 0.5×45°处应无毛刺 3）检查刷握压指是否转动灵活，弹簧压力是否在规定范围内 4）检查各电刷是否能在刷盒孔内滑动自如，电刷与刷盒孔的配合是否良好 5）检查电刷的接触面积不应小于 80%，电刷不应有崩裂和几个接触面痕迹 6）检查刷盒底边与换向器工作面是否平行，其间距是否符合要求（一般为 2～4mm 左右） 7）检查各绕组的绝缘电阻 8）检查刷架圈紧固双头螺栓有无松动现象，其他各处紧固零件是否处于紧固完好状态 9）检查电枢表面的无纬带和钢丝绑扎，有否乱丝、松散状况 10）检查抱轴瓦与动轮轴之间的间隙是否正常，润滑装置是否良好
需补充油脂的部位	1）滚动轴承的润滑油脂应定期定量补充，加脂量要适当，要注意油脂牌号，不可混用 2）抱轴瓦油箱内润滑油，也要及时补充，油面不应超过最高界限线

3. 牵引电动机检查维护常用的方法

（1）直流高压泄漏电流试验　对牵引电动机的电枢施加直流电压时，由于电枢内部存在着堆积的炭粉及其他导电性粉末、电枢绝缘潮湿或存在着机械性破损和裂缝，产生表面传导电流或体积传导电流，即泄漏电流，从所加直流高压与泄漏电流变化关系曲线，可以分析判断出电枢绝缘受损的原因及状态。一般泄漏电流是属于微安级，既使集中流过一个部位，也不会造成绝缘材料过热烧焦，所以直流高压检测法是一种无损检测法，应该在牵引电动机检修中大力推广使用。实践表明，此法同样适用于对定子绕组的检测和判别。该仪器的使用原理及方法在“电枢的故障检查及修理中”另有阐述。

电枢泄漏电流大小反映了绝缘的状态，对一般铁道干线牵引电动机，不大于 80μA 左右，可认为电动机绝缘正常，一般冷态下直流测试电压值为工频耐压标准值的 2～2.5 倍。

（2）牵引电动机电枢匝间绝缘检测　本检测采用各种脉冲电压检测仪，如 TA 型便携式牵引电动机匝间耐压检测仪，其工作原理及适用范围见本章电枢“故障检查及修理”部分。在进行测试前，应将换向器工作表面及外表面上可能存在匝间短路的隐患清除，然后施加上（20～30）U_P 的电压，其中 U_P 为平均片间电压的设计值，其合格标准为 $10U_P$，并不低于 200V。使用本仪器时，可根据峰值电压表读数大小和声响以及放电火花，协助判别故障点的处所。

（3）电动机换向器片间电阻检测　相邻两换向片之间的电阻值主要是由该两片间所连接的电枢元件的电阻值和电枢绕组元件和换向片槽之间的接触电阻二个部分组成。大家知道，电枢绕组元件的连接是有一定规律的，在单叠绕组内由于一定要采用均压线，使电枢绕组构成了较为复杂的串、并联网络系统。由于不同相邻两换向片之间，电枢绕组元件连接网络略有变化，使之两相邻片间电压值也有了一定的差异，这

将对我们判断电枢元件与升高片之间接触电阻及焊接质量带来困难。

用 TZ 型接触电阻检测仪来直接检测换向片间的电阻值具有快速、方便、准确的特点，经很多机务段及修理单位使用，对判断绕组电连接质量是十分有益的，以 ZQDR-410 直流牵引电动机为例，其相邻两片的片间电阻限值为 700 ~ 800μΩ。测量时，尽量在距换向器前压圈端 10 ~ 15mm 处测量，测笔接触各换向器片的位置，应保持一致。对采用氩弧焊工艺的电枢，须符合下式的要求：

$$\left|\frac{R - R_{cp}}{R_{cp}}\right| \leqslant 5\% \sim 6\% \qquad (2\text{-}2)$$

式中 R——每片间电阻；

R_{cp}——平均电阻。

对于修理时重新焊接换向器升高片的，也应按上式要求进行检测。对于采用锡焊工艺的电枢，可放宽到 10% 左右。以上这些数据的实际限值，各修理单位可根据自己的实践经验制订。

（4）电缆等导电部件间的接触电阻　牵引电动机内部各绕组、刷握等导电部件之间及牵引电动机引出电缆与机车电缆等连接处，均存在着很多电气连接点的可靠连结问题，为连接不好或接触电阻过大，将会造成电动机绕组发热甚至烧损，直接影响牵引电动机可靠运行。如牵引电动机用多种规格的电缆铜芯线与铜端子接头间冷压压接，刷握部分用铜芯编织软连线与异形铜接头间的焊接，各定子绕组之间铜母线用大电流压焊焊接（属电阻焊）等等，由于这些电连接处的损坏使牵引电动机不能正常运行的故障也时有发生的，因此无论在新制或更换、修理时，用 TZ 型接触电阻检测仪实测这些电连接点的接触电阻是很有必要的。如电缆接头实测时，测笔位置触在铜芯电缆和铜接头端头处，应选取目测焊接或压接良好的电缆端子多根并经多次测量的接触电阻的平均值作为基准值，压焊面积越大的电缆端子，接触电阻基准值越小，如 100mm² 以上的电缆端子，其接触电阻不应超过 5 ~ 10μΩ，当牵引电动机修理时，复测这些电连接点的接触电阻，不应超过以上值的 3 ~ 8 倍为好，否则应进行重新压接或焊接，必要时应重新更换新电缆。

目前很多牵引电动机上的电连接点，还采用螺栓压紧连接方式，实践证明连接处接触面积是否平整、导电面是否良好，螺栓拧紧力矩是否足够等也十分重要，笔者曾实测同一根电缆上的二个电连接点处的运行温度，由于电连接质量不同，相差达 30 ℃ 左右，因此也务必引起我们的重视。

六、改变规格的通用方法

工业产品的标准化、系列化、通用化是一项具有重大经济效益的技术政策。在牵引电动机制造、使用及维修部门，为了提高自身的经济效益，简化管理，提高产品质量，要求以最少的品种满足最大的使用需要，因此实践中常将某一规格之牵引电动机整台或稍加改造而通用于不同功率或不同的电压下使用，下面介绍一些变规格而不影响安全运行的方法。

1. 改变电压使功率改变的整机通用法

在电机设计时，电动机的额定转矩 T_N 公式如下：

$$T_N = 974\frac{P_N}{n_N} = 0.16\alpha_i A_s B_\delta D_\alpha^2 l_a \times 10^{-3} \qquad (2\text{-}3)$$

式中 α_i——计算极弧系数；

A_s——线负荷；

B_δ——气隙磁通密度。

上式表征三参数与电机的发热和换向有关，也反映一定的电机制造水平，$D_\alpha^2 l_a$ 表示电机的有效体积，从式（2-3）可见

$$T_N = D_\alpha^2 l_a \qquad (2\text{-}4)$$

即电动机的额定转矩与其有效体积成正比，由此可见在一定的制造水平时即 α_i、A_s、B_δ 相同，两台转矩相同的电动机，应有相同的体积，也就是说和其功率的大小是没有直接关系的。

另一方面，对于调速电动机，可以引入设计容量 $P_N K_n$ 的概念，作为表示调速电动机实际能力的指标，这里 P_N 为牵引电动机的额定功率，调速系数 K_n 为最大转速 n_{max} 与额定转速 n_N 的比值，即有

$$K_n = \frac{n_{max}}{n_N} \qquad (2\text{-}5)$$

因而

$$P_N K_n = P_N\frac{n_{max}}{n_N} = \frac{T_N n_N n_{max}}{974\ n_N}$$

$$= \frac{T_N n_{max}}{974} = 3.13\alpha_i A_s B_\delta V_{\alpha M} D_\alpha \times 10^{-9} \qquad (2\text{-}6)$$

由式（2-6）可见，二台额定转矩 T_N 和最大工作转速 n_{max} 都相等的电动机，它们的设计容量 $P_N K_n$ 就相等，换言之，两台设计容量相等的牵引电动机，可以整机通用。由此可见一台牵引电动机改变功率 P_N 通用的条件是

$$P_N K_n = 常数$$

由上式可见，要 $P_N K_n$ 乘积不变，只要电动机的转矩 T_N 和 n_{max} 不变即可，但在保持这些条件时，又怎样来改变电动机的实际使用功率呢？可从下面两个基本公式看出

$$P_N = \frac{T_N n_N}{974} = U_N I_N \eta_N \tag{2-7}$$

$$n_N = \frac{E_N}{C_\Phi} \approx \frac{U_N}{C_\Phi} \tag{2-8}$$

对于串励电动机

$$T_N = C_M \Phi I_N \approx C_M' I_N^2 \tag{2-9}$$

从式（2-9）可见，通用时必须 T_N 不变，就相当于要额定电流 I_N 不变，此时从式（2-7）可见，可有改变额定电压 U_N 及额定转速 n_N 才可以改变额定功率 P_N，结合式（2-8），可以写出整台电机通用的方法

$$U_N \equiv n_N \equiv P_N = \text{变数} \tag{2-10}$$

即对同一台牵引电动机，在保持额定电流和最大转速基本不变的条件下，可以用改变其额定电压的办法来变化出多种功率，以适应不同机车的要求。

需要指出，上式通用条件也可改写为两个条件，即：

$$n_{max} \approx \text{常数} \tag{2-11}$$

$$T_N \approx \text{常数} \tag{2-12}$$

这只是通用时保持发热和机械强度充分利用的条件，事实上，为了达到更大的通用范围，不必强求完全到这些数值，只要基本上相近就可以了。

以上讲的改变功率达到整机通用的方法，但这只有在电压可以自由选择的自供电源的机车上才适用。国外对内燃机车、燃气轮机车及电力机车之间通用同型牵引电动机的方法应用甚广，在我国也已进行了大量的工作，如具有六极结构的 ZQDR-410-1 通用型直流牵引电动机，就是应用上述通用方法，已分别在 1000、2000、3000、4000HP 内燃机车及 3000HP 燃气轮机车上试运行过，后又将其机座更改而通用到国产 100t 电动轮自卸载重汽车上，作后桥驱动的电动轮电动机，表 2-14 列出通用于不同机车时的电动机规格。

表 2-14　ZQDR-410-1 通用于不同机车时的规格

序号	参　数	符号	单位	通用于不同机车时的规格				
1	机车功率	N_N	HP	1000	2000	3000	4000	1200
2	机车类型和用途			工业用内燃机车	客运内燃机车	货用燃气轮机车	货运内燃机车	矿用 100t 电动轮卡车
3	额定功率	P_N	kW	260	200	303	410	317
4	额定电压	U_N	V	363	275	380	505	432
5	额定高电压	U_M	V	700	410	610	750	700
6	额定转速	n_N	r/min	473	350	480	650	583
7	最大转速	n_{max}	r/min	2370	2370	2370	2370	2085
8	调速系数	K_n		5	6.77	4.93	3.64	3.6
9	额定电流	I_N	A	800	820	875	875	795
10	额定转矩	T_N	N·m	5360	5500	6150	6150	5300
11	设计容量	$P_N K_n$	kW	1302	1354	1495	1495	1134
12	额定效率	η	%	90.8	89	91	93	92
13	额定风量	Q	m^3/min	70	55	75	100	70

2. 改变风量或绝缘等级的改变功率法

（1）改变牵引电动机通风量可以在保持相同温升的条件下，得到不同的电流和功率。此时额定电压不变。例如将全封闭自冷式的牵引电动机改造成外强迫通风时，电流和功率一般可提高 60% ~80% 。

某牵引电动机原持续制功率为 290kW，后将外通风量由原 $69m^3/min$ 提高为 $80m^3/min$ 后，功率提高到 310kW，满足了新型机车牵引性能的需要。

（2）提高牵引电动机的绝缘等级，相应提高允许温升，额定电流和功率也增大。例如 ZQ-21 牵引电动机，原用 A 级绝缘，其小时功率为 20.6kW，改为 B 级绝缘后提高到 23.8kW。又如无轨电车用 ZQ-60 型牵引电动机，小时功率为 60kW，改为 F 级绝缘后提高到 80kW。

3. 改变绕组参数使额定电压改变

电动机的端电压近似等于其电枢反电势 E，即

$$U \approx E = \frac{pn}{60}\frac{N}{a}\Phi \times 10^{-8} \tag{2-13}$$

式中　p——电机极对数；

n——电机转速；

a——电枢绕组并联支路对数；

Φ——电机的磁通量；

N——电枢绕组总导体数；

$$N = 2N_c Q_a U_s \tag{2-14}$$

式中　N_c——电枢绕组元件的匝数；

Q_a——电枢槽数；

U_s——电枢每槽换向片数或称虚槽数。

由式（2-13）和（2-14），当 N_s 增加一倍，导体数 N 也增加一倍，相应反电势 E 或端电压 U 也增加一倍。应用这一关系，可将额定电压为 250V 的牵引电动机改造为 550V，只须把电枢绕组元件匝数增加一倍，由于电压增加倍数为原值的 $\frac{550}{250}=2.2$，如功率保持不变，则电流应减小 2.2 倍，此时磁通量为原值的 1.1 倍，改造前后的功率、转速和牵引力不变，表 2-15 列出 ZQ-21 牵引电动机的有关数据。

4. 变化磁通改变额定转速法

我们把式（2-13）改写成

$$n=\frac{60Ea}{pN\Phi}\times 10^{8} \qquad (2\text{-}15)$$

从式（2-15）可知，改变磁通量 Φ 的数值，就可改变电机转速 n，可分以下几种情况：

1）当电动机原设计磁路不饱和时，可以适当增加主极绕组匝数来增大磁势，从而提高磁通量 Φ，相应成反比例地降低额定转速（此时电动机的额定转矩相应增大）。但此法受磁极绕组温升的限制，如定子布置有困难，可以提高绝缘等级以缩小线规。此外，此法还受磁路饱和的限制，高速运行时的输出功率将有所降低。本法不可能大幅度变速，一般为 10% 左右。

反之，当减少主极绕组匝数时，可以使磁通量减小，从而使电动机额定转速增高，相应地额定转矩成比例地减小。但因主极匝数越减少，磁路越近线性不饱和区，因而不受磁路及温升的限制。

2）增大主极气隙，可使额定转速增高，常用方法是把机座内孔或主极铁心外圆面车削掉一些；相反地如在主极铁心外圆面与机座间加垫钢片，使主极气隙减小，则由于磁阻的减小而使磁通增大，从而降低了转速。

表 2-15　ZQ-21 牵引电动机改压前后数据表

序号	参　　数	单　　位	250V 时数据	550V 时数据
1	小时功率	kW	20.6	20.6
2	小时电流	A	95	44
3	小时转速	r/min	600	600
4	电枢元件匝数	匝	2	4
5	主极绕组匝数	匝	54.5	120.5
6	换向绕组匝数	匝	39.5	74.5
7	电枢绕组线规	mm × mm	1.81 ×6.9	1.68 ×3.05
8	主极绕组线规	mm × mm	4.1 ×7.4	2.1 ×7.4
9	换向绕组线规	mm × mm	4.1 ×7.4	2.1 ×7.4

3）加长电枢铁心可以降低额定转速，提高转矩。反之减短电枢铁心，可以提高额定转速，降低转矩，此时如能把磁极铁心作相应增减，则更为合适。例如露天 20t 工矿电机车主牵引电动机 ZQ-110，其主要规格为：110kW、750V、161A、1212r/min、电枢铁心长为 286mm。后将其铁心加长到 360mm，其功率、电压和电流都不变，额定转速降低为 980r/min，转矩也相应增加，改造后的电动机型号为 ZQ110-1，适用于近距离的城市电动客车作主牵引电动机，其详细对比数据参见附录表 2-2 国产工矿牵引电机主要数据表。

第二节　整机故障检查及修理

一、机械故障的检查及修理

1. 检查内容及要求

1）检查所有总装零部件是否齐全、紧固件是否完整无损并处于紧固状态。

2）检查引出电缆有否松动，引线接头有否脱焊，电缆线标号是否齐全。

3）锥度或圆柱形轴件上不应有明显的伤痕和锈蚀，与套在轴伸上的齿轮或联轴器内孔的接触面积不少于 65%，无键连接的不低于 80%。

4）打开视察窗盖检查刷握固定是否牢固。位置是否正确，电刷在刷盒内是否滑动自如，间隙是否适

当，各刷握弹簧压力是否均匀。

5）检查换向器表面应无尖角毛刺，片间沟槽内应无油污和碳粉，同时检查换向器表面是否已生成氧化膜，电刷磨合表面是否良好。

6）施外力矩于轴伸上，观察电枢的转动应平稳灵活，不得有摩擦和过分呆滞，更不应有卡住等情况。

2. 机械故障原因及处理

表 2-16　整机机械故障现象、原因及处理措施

类别	现象及原因	处理措施
轴伸端油封窜油	电机轴头直接入到齿轮箱或齿轮罩壳内时，回转部分和静止部分之间的间隙，便成为齿轮油窜入电机内部之通道，其结果使电机绝缘电阻降低，换向器与电刷的正常接触被破坏，轴承润滑变坏、温度升高。牵引电动机轴伸端油封常见结构如图 2-1 所示。图 2-1d 和图 2-1b 均为迷宫式，图 2-1c 为曲折式，图 2-1a 和图 2-1e 为迷宫和曲折两者结合的型式。为阻止窜油，可加装内隔板，外挡板，外挡油罩和甩油盘，在油封下方设泄油孔或排油槽	1）采用阻力大，防窜油能力强，并具有泄油通道的油封。此法结构复杂，油封占有的轴向及径向尺寸大 2）严格控制齿轮油面的高度，以浸没最下端齿轮的一个齿高为好，也可按油尺标线为准 3）采用粘度高的齿轮油 4）在不影响装拆和运用可靠的前提下，尽量减小轴封的间隙并增加其长度 5）电机内部电枢后鼻端空腔中增加通大气管子，以降低内腔的负压 6）齿轮箱内正压区的上方开排气孔，使起均压的作用 7）轴承外平面和轴承盖外止口端平面间加装隔板，增大窜油阻力（如图 2-1a） 8）在窜油通道入口处加装挡油板，以挡住直接飞溅到“入口处”的齿轮油（图 2-1b） 9）在机车传动系统位置许可时，尽量采用联轴器式的传动结构（图 2-1c）
尼龙轴衬发热磨轴和失油快	在井下 3t、7t、10t 的架线式和 8t 蓄电池式电机车上，主牵引电动机 ZQ-12A、ZQ-21、ZQ-24 和 ZQ-11B 上均采用尼龙抱轴轴衬，其工作条件如下： 单位压力：0.154MPa 最大线速度：0.94m/s 发热因素 *PV*：0.13MPa/s 尼龙具有良好的综合机械性能，并有较好的耐磨、吸震、抗疲劳性能，长期工作温度为 80～85 ℃，短时 110 ℃ 完全可以适应上述工作要求，但必须注意尼龙轴衬应具有正确的形状和尺寸，选用合适的材质制成，装配也应合理，否则易产生发热，磨轴和失油快等故障，因此均不可将尺寸超差或变形严重的尼龙轴衬装机使用	1）正确的尺寸：要求内孔尺寸为 $\phi 90^{+0.6}_{+0.5}$ 轮轴轴颈尺寸为 $\phi 90^{-0.05}_{-0.14}$，配合间隙 0.55～0.74mm。由于尼龙轴衬变形，内孔和外径测量不方便，误差大，实际工作中常检查壁厚，最佳范围为 7.2～7.3mm，个别点处 7.1～7.35mm，每半块上均需测 6～9 点 2）合适的材质：尼龙 1010 是最佳的材料，其次是尼龙 6。不应使用硬脆性的材料，轴衬成型后从高处跌落地面或用木锤以常力打击时不应碎裂 3）合理的装配：电动机机座与抱轴盖的结合面处，应按制造厂的规定放置垫片，其厚度及数量切勿随意变动，以保证轴衬内孔的圆度 4）满意的形状：两半轴衬的中分面及外圆面上的注塑口、飞边毛刺、凸台等应清除干净，油槽口不得高出内孔表面。成型的尼龙轴衬，由于热收缩的作用，如注塑工艺、保温、脱模等掌握不当，则成品轴衬的中分面有向内弯曲的趋向，造成曲率缩小，装机后不能全部复圆而造成磨轴，严重时将卡死动轮轴不能旋转

（续）

<table>
<tr><th>类别</th><th>现象及原因</th><th>处理措施</th></tr>
<tr><td rowspan="8">滚动轴承烧损</td><td>1）轴承造型不当</td><td>1）轴承负荷重，应另选工作能力系数大的轴承。轴承最高极限转速不够，经常超载运行</td></tr>
<tr><td>2）轴承制造质量差</td><td>2）轴承内、外圈加工精度不够，硬度低。保持架强度低，铆钉松动脱落</td></tr>
<tr><td>3）电枢动平衡不良，轴向窜动大，齿轮啮合不好，线路冲击振动大，弯道多，坡度大，曲率半径小</td><td>3）改善运行条件，加强电枢动平衡，检查平衡块是否松动、移位、脱落</td></tr>
<tr><td>4）径向游隙太小，温度升高时易卡死滚珠或滚柱</td><td>4）大、中型牵引电动机轴承应用放大间隙组（C4 组）的轴承，具体如下：
<table>
<tr><th>轴承型号</th><th>牵引电动机型号</th><th>原始径向游隙/mm</th></tr>
<tr><td>E32426QTU</td><td>204,410</td><td>0.15 ~ 0.18</td></tr>
<tr><td>92417QTU</td><td>204,410</td><td>0.12 ~ 0.145</td></tr>
<tr><td>E32330QTU</td><td>410C</td><td>0.17 ~ 0.20</td></tr>
<tr><td>E32330QTU</td><td>GE752</td><td>0.17 ~ 0.20</td></tr>
<tr><td>62320QTU</td><td>GE752</td><td>0.12 ~ 0.145</td></tr>
<tr><td>62318QTU</td><td>410C</td><td>0.12 ~ 0.145</td></tr>
<tr><td>4E62322QT</td><td>TA0649D</td><td>0.12 ~ 0.145</td></tr>
<tr><td>E32332QTU</td><td>TA0649D</td><td>0.18 ~ 0.22</td></tr>
<tr><td>4E42328T</td><td>650,850</td><td>0.135 ~ 0.16</td></tr>
<tr><td>4E42330T</td><td>850</td><td>0.15 ~ 0.18</td></tr>
<tr><td>466826/W238</td><td>310</td><td>0.163 ~ 0.209</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>5）轴承内圈与轴的配合质量不好，造成内圈松动</td><td>5）用 TZ 型接触电阻测量仪检测内圈滚动上方与轴颈上方，两个测点位置分别距内圈的两个端面 10mm 处，正、负两支测笔应调换，测出两个数据的平均值作为检测值。各种轴承内圈与轴之间接触电阻要经较多次测试，以其平均值作为基准值。
ZQDR-410 牵引电动机的 32426 轴承，以小于 25μΩ 为良好，25 ~ 50μΩ 为合格，大于 75μΩ 则不准使用。一般认为，小于基准值为良好，1 ~ 2 倍基准值为合格，2 ~ 3 倍基准值须处理或观察使用，大于 3 倍基准值时不许使用</td></tr>
<tr><td>6）加强对轴承使用状态的检测与监控</td><td>6）推广使用 JSC-206 轴承检测仪，对电动机轴承质量进行有力的监控，判别轴承的质量状态，达到减少电动机轴承故障造成的电动机损坏</td></tr>
<tr><td>7）圆锥滚子轴承的游隙调整得太小</td><td>7）圆锥滚子轴承的装配结构如图 2-2 所示，拧进或旋出调节螺柱，推动顶在轴承外圈上的压板，以调整轴承的游隙。应按制造厂说明书中的规定，调整到合适的游隙，以转动灵活为好</td></tr>
<tr><td>8）轴承安装和使用不当，轴承发热并降低寿命</td><td>8）轴承安装和使用的要点如下：
①热套轴承内圈时的加热温度不超过 120 ℃，最好采用恒温控制设备②安装外圈时应在端面上均匀受力压入，切勿使用铁锤单边击入③润滑脂要加得适当，过多或过少都会使轴承发热，加快轴承磨损。合理的加脂法是先将滚道间隙填满，再在轴承室内加容积占 1/3 左右的油脂。不同牌号润滑脂不得混用，应按规定的牌号添加新脂</td></tr>
</table>

（续）

类别	现象及原因	处理措施
滚动轴承烧损	9）轴承的维护保养差，也极易引起轴承烧损	9）建立定时定量的加脂和保养工作，油脂必须洁净，油堵不得丢失，统一油脂牌号。经常测试轴承温度，如有异音或不正常振动，应及时查找原因。更换和重装轴承时必须严格检查，合理控制轴承使用的期限
通风口进油和水	牵引电动机内部进油和水，降低电动机绝缘强度，极易造成接地或短路故障而烧损电动机	1）控制住油水的漏泄和流失，消灭油、水污的源头，如存放于冷却室的备用油壶中油的飞溅，静液压管系的漏泄 2）控制泄漏的油、水进入通风道的措施。横梁中腔另设排油管，防止沿横梁泄漏到通风管道。把后通风机的进风处所移到管系泄漏少的地方，以减少进入通风管道的油水
铜抱轴瓦损伤	由于机车功率的增加及速度的提高，抱轴瓦的负荷相应增大，抱轴瓦过热、合金层碾片等早期性故障时有发生	1）铜质的瓦背与薄层的合金之间结合性差而发生烧损，刮瓦需均匀、麻点等要消除干净 2）抱轴油必须具有优良的抗氧化及抗腐蚀性，并具有合适的粘度 3）给油器毛毡片必须保持清洁，其上的污物及杂质须定期清除。毛毡片伸入量必须符合规定要求，弹簧压力应符合工艺要求 4）抱轴油箱的油面必须符合要求，经常按检查油层上标定的最高、最低油位，进行检查和控制 5）抱轴瓦大端面端部的橡胶防尘密封垫，可有效防止灰尘等污物进入油箱，防护罩及 RTV 硅橡胶密封剂应正常发挥作用，一旦脱落必须及时修复 6）抱轴油箱内必须清洗干净，上、下抱轴瓦半片必须是同一号码，新装或更换检修过的抱轴瓦的质量必须得到保证 7）抱轴瓦与动轮轴抱轴颈处的配合间隙会直接影响抱轴承的润滑，过大或过小都会引起抱轴瓦过热和烧损，因此必须定期检查其径向及轴向间隙
其他机械故障		1）牵引电动机的轴向窜动量超过规定值，换向器表面中间磨出一条沿径向分布的凸台，易撞击电刷使产生崩角，产生机械火花 2）大齿轮与小齿轮间磨损严重，产生剥离、凹坑、偏磨。大、小齿轮未成对更换，加剧了产生的冲击振动源，过大的机械冲击，使牵引电动机产生换向器环火，绝缘磨破产生电气击穿、紧固件松动及造成刷握故障等

图 2-1　牵引电动机轴伸端常见油封结构

a）迷宫和曲折式组合结构　1—端盖　2—轴承盖　3—内隔板　4—甩油盘
b）迷宫和曲折式组合结构　1—外挡板　2—封环　3—轴套　4—轴
c）曲折式油封结构　1—端盖　2—轴承盖　3—轴承　4—轴套
d）迷宫式油封结构　1—内轴套　2—轴承外盖　3—外轴套
e）迷宫和曲折式组合结构　1—轴承内盖　2—轴承外盖　3—甩油环　4—外档油罩
f）迷宫和曲折式组合结构　1—外档板　2—内隔板　3—轴承盖　4—甩油圈

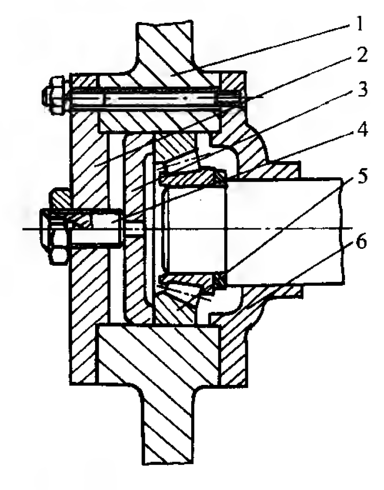


图 2-2　圆锥滚子轴承装配结构图
1—端盖　2—轴承外盖　3—压板　4—调节螺柱
5—圆锥滚子轴承　6—轴承内盖

二、电气故障的检查及修理

1. 电气检查内容及要求

1）用相应规格的绝缘电阻表检查电机定子、电枢和刷架的绝缘状态，在常温下，整机应不小于3MΩ。过低时，应找出原因，如果受潮引起，应先烘干；如果绝缘表面有油污及灰尘，应进行彻底清洗；如果绝缘老化破损，则应重新修补或更换绝缘。

2）绝缘介电强度试验　对新制电动机各工序及整机的介电强度试验值见附录表 2-5 的规定，对修复的旧绕组或重复进行耐压试验时，应降低至附录表规定值的 75% ~80%。

3）拆开电动机分别对定子、电枢、刷架等进行有关项目的检查，除绝缘电阻及耐压两项外，还应检

查内部各联线是否规则及牢固，绑扎及固定是否可靠，不应有碰擦、裂纹、脱焊松动甚至断裂等现象，磁极紧固螺栓有否松动，用压降法或电桥测定各绕组的冷态直流电阻（与设计值或电机出厂技术文件的测量值进行比较，以确定有否断路和短路）。电枢部分则应检查是否有匝间短路、断路、接地等故障，检查电枢绕组节距是否正确，电枢导体与换向器之间有否虚焊、脱焊和甩锡，除用目测进行检查外，大多需用仪器进行测定。

4）空载运转试验　单台电动机在他励方式下空载运行，电压一般加到 20% 额定值，以接近最大转速为限，测量轴承温度以不超过 80 ℃ 为限，试验中应检查轴承有无异音，特别是内、外油封、迷宫、轴套挡圈等不应有擦音，停机后应检查电刷的接触面积。

5）负载试验　试验的性能要求、项目及方法等可参照本手册试验章节的牵引电动机试验部分。

2. 电气故障原因及处理（表 2-17）

表 2-17　牵引电动机电气故障原因及处理方法

类别	现象及原因	处理方法
电机不转	1）电源不通	1）检查线路中各开关、触头和电缆接头是否有未合上和接触不好
	2）出线电缆标号错	2）查清绕组类型及端头后，改接正确
	3）电刷与换向器未接触	3）检查刷握弹簧是否压上，电刷是否卡住在刷盒上
	4）刷辫线断裂或松脱	4）更换电刷
	5）电机内部连接有故障	5）找到连接错误或接头松脱处，重新接好
	6）串励绕组断路	6）找出断路处并修复好或更换新线圈
	7）过载严重	7）减载后重新起动
转速偏高	1）电网电压太高	1）调低电压
	2）串励绕组局部短路	2）找到短路线圈及处所后进行局部绝缘修补，方法见定子及电枢修理部分
	3）复励电机中有一组绕组未励磁或磁场方向反向	3）查清励磁线圈接点是否接触不良或接反后，改正接线或修复到接触良好
	4）主极气隙偏大	4）按拆修前原样垫好主极垫片
	5）负载电流低	5）如仪表与读数无误，则应增加负载
	6）电刷未处于中性位置	6）电刷顺旋转方向适当移动
	7）电枢由钢丝改用无纬带绑扎	7）适当调小主极气隙或增加主极匝数
转速偏低	1）电网电压太低	1）调高电压
	2）电刷未处于中性位置	2）电刷逆旋转方向适当移动
	3）主极气隙偏小	3）适当抽除垫放在主极铁心背面的钢垫片，也可改为黄铜垫片，形成主极第二气隙
	4）重绕的串励绕组匝数偏多	4）减少匝数
	5）负载电流偏大	5）如仪表与读数无误，则应减小负载
火花大	1）电机换向参数不合适	1）修改设计
	2）换向极极性错	2）按本节定子部分要求检查并改正极性
	3）换向极补偿过强或过弱	3）做无火花区域试验后改变匝数或气隙大小
	4）换向极气隙不合适	4）按拆修记录恢复原气隙值或通过试验确定最佳气隙值
	5）换向极绕组短路	5）消除短路或更换新线圈
	6）电枢有接地故障	6）排除接地故障
	7）电枢与换向片间焊接不良	7）用毫伏表检查出焊接不良的处所后重焊，见本节的电枢部分
	8）电枢绕组断路	8）更换断路的线圈或者局部修焊之
	9）电刷偏离中心线过多	9）进行中性区试验后调整电刷位置
	10）电机过载	10）减小负载
	11）换向极极靴形状不合适	11）改变极靴形状进行试验，以正确补偿电抗电势为好
	12）机械火花	12）消除机械火花见本节换向器部分

（续）

类别	现象及原因	处理方法
绕组过热	1）冷却条件差 2）负载过大 3）绕组有短路和接地 4）设计时或修理中重绕时线规偏小 5）线圈绝缘材料的结构和品种变化，厚度增大 6）线圈绕制松散 7）浸漆不透 8）发热参数选择不合适 9）并励或他励绕组的电压太高 10）电刷压力太大，换向器表面过热	1）消除风道堵塞，风扇损坏等故障 2）降低负载 3）消除短路和接地 4）放大线规截面 5）恢复原结构，原用材料及层数，增加浸漆次数 6）改进绕线操作和工艺，采用胶化和热压工艺 7）改变浸漆工艺和漆的牌号及粘度 8）改变线规 9）恢复到规定的电压值 10）调整电刷压力，更换弹簧
绝缘电阻低	1）绝缘老化 2）绝缘破损 3）绝缘受潮 4）电刷炭粉，油污粘附于绕组表面	1）重包绝缘 2）减小绕组和铁心间的摩擦和相对位移，增加弹性支撑 3）降低环境湿度，提高电机的密封性，防止环境冷热突变而产生凝露，处理方法见本章下文 4）提高换向器表面光洁度及倒角质量；在保证换向可靠前提下减低电刷压力或更换电刷牌号；采取措施防止齿轮油窜入电机内部；控制润滑脂添加量；电枢端部用无纬带遮住，防止炭粉渗入
电机受潮	由于运输保管的不当和使用环境的突变，牵引电动机易受到淋水和凝露，特别是矿井下使用的中、小型牵引电机，由于湿度很大，滴水严重，有时甚至突然涨水，均使电机有不同程度的受潮，造成绝缘电阻下降，换向器和电刷磨耗加快，锈蚀金属件，严重时将烧损电机	受潮定子修复的步骤如下： 1）用水冲洗定子，油污多时可用洗涤剂清洗 2）烘干：对 B 级绝缘，烘干温度取 130～135 ℃ 热态绝缘电阻应达 $\frac{U_N}{1000}$MΩ 以上 3）更换定子上已损坏的零部件，如电缆、磁极绕组、刷架及其支持部件等 4）在定子绕组的表面及机座内壁喷 EM8363 或 1321 灰耐弧瓷漆 5）极性及耐压检查 注：必要时可拆下定子线圈，经清洗烘干后再浸漆，最后再重新装配受潮电枢的修理见本节电枢部分

表 2-18　直流辅助牵引电机常见故障及原因

类别	常见故障及原因	防止方法
电气击穿和烧损	1）电网电压超高，易使导体匝间、对地、电气间隙和绝缘体表面漏电距离被击穿放电 2）对 550V 以上较高电压级的辅助电机，由于体积小，其绝缘结构及制造工艺必须相适应 3）导体过细，在振动冲击下易出故障 4）换向片数多而薄或片间电压过高，特别是采用塑料换向器时，较易烧损	1）电网电压波动不允许超过规定值 2）绝缘结构及其电气强度要正确和足够，绝缘处理及工艺要按规程 3）设计上充分考虑安全可靠性如焊接时并一段粗导线绕上 4）改进设计，550V 及以上电机不宜采用塑料换向器
阻尼电阻太小	辅助牵引电动机在起动时需串入电阻，以限制起动电流并在频繁的接上和断开电源时起阻尼稳定作用，在损坏更换或修理中，如阻尼电阻值变小，则电动机实际端电压将升高而烧损电动机	要按制造厂规定串接阻尼电阻

（续）

类别	常见故障及原因	防止方法
超速使用	1）电网电压超高 2）复励辅助牵引电机的他励或并励绕组故障失励（如接触器触点合不上，他、并励线圈短路或断路） 3）串励辅助牵引电动机在负载不足下运用 表 2-19 示出 ZQD-4 和 ZQD-5 辅助牵引电动机在某矿山的实际使用工况	1）减小网压的波动 2）设计和制造上采取措施，避免他，并励绕组短路和断路 3）改变控制电路接线，确保他或并励绕组先于串励绕组合上。应避免串励辅助电动机在欠负载下使用，必要时可减小功率或降低额定转速
环境温度高	装于车体内的辅助电动机，周围空气温度达 50 ℃以上，加上空压机局部热辐射，加速了绝缘的老化烧损	改善电动机的冷却方式和条件，采取措施降低环境温度

表 2-19　ZQD-4，ZQD-5 辅助牵引电机在某矿实际使用工况

电机型号	使用于机车型号	工作制	功率/kW	额定电压/V	实际电网电压/V	电流/A		转速/(r/min)		最大转速/(r/min)	阻尼电阻/Ω	
						额定	实用	额定	实际		规定	实用
ZQD-4	ZL-20	连续	4	750	930	7.6	5.8	2800	3650	3360	14	32.5
ZQD-5	ZK-20		5	550	600	13	8	2550	3350（负载） 3600（空载）		8	38

三、辅助牵引电动机故障原因及防止

在电力机车和内燃机车上，带动空气压缩机、通风机、升弓泵等设备的电动机和辅助发电机通称为辅助牵引电机，由于需承受剧烈的电压波动和短时过电流的冲击，特别是空压机电动机还要求能适应频繁的起动和较大的起动转矩倍数，因此大多采用串励电动机。辅助发电机则要求较高的电压稳定性，驱动电动机的转速变化小，常采用复励电动机，以便兼得耐受电压冲击和稳速的特性。直流辅助牵引电机常见故障及原因见表 2-18。某矿实际使用工况见表 2-19。

四、牵引电动机的大修限度及检修记录

牵引电动机进行大修时应认真做好检修记录，并对照大修限度的规定，决定这些零部件是否要进行检修或更换，下面列举典型的大修限度和检修纪录的格式及项目，见表 2-20 和表 2-21。

表 2-20　典型的大修限度　　（mm）

序号	名　　称		原形	限度
1	同步牵引发电机			
1.1	电机转轴轴承档直径		$\phi130^{+0.040}_{+0.013}$	$\phi130^{+0.040}_{+0.013}$
1.2	端盖轴承孔的直径		$\phi280^{+0.069}_{+0.017}$	$\phi280^{+0.069}_{+0.017}$
1.3	轴承外圈与端盖轴承孔的径向间隙		0.02～0.085	0.02～0.10
1.4	轴承径向游隙	装配前	0.145～0.190	0.145～0.190
		装配后	0.085～0.170	0.085～0.180
1.5	电机单边气隙		3±0.3	3±0.3
1.6	定子与转子对边间隙差			≤0.6
1.7	电刷在刷盒中的间隙	沿电刷厚度方向	0.07～0.35	0.07～0.45
		沿电刷宽度方向	0.08～0.42	0.08～0.42

（续）

序号	名　　称		原形	限度
1.8	电刷盒与集电环工作面距离		2～5	2～5
1.9	电刷压力(N)		19.6～24.5	19.6～24.5
1.10	电刷与集电环接触面积		>80%	>80%
1.11	集电环工作面直径		$\phi380_{-0.23}^{0}$	$\phi365$
1.12	电机试验后集电环工作面跳动量		0～0.10	0.15
2	牵引电动机			
2.1	转轴1:19.2锥面中间部位处对轴承档的跳动量		0.08	0.10
2.2	机座端盖孔圆度			
		后端盖	0.032	0.05
2.3	端盖装配的过盈量		0.0095～0.12	0.0095～0.12
2.4	电枢轴装配轴承处的直径	传动侧	$\phi130.056_{-0.02}^{0}$	$\phi130.056_{-0.02}^{0}$
		换向器侧	$\phi90.03_{-0.0178}^{0}$	$\phi90.03_{-0.0178}^{0}$
2.5	转轴轴颈跳动量	传动侧	0.02	0.02
		换向器侧	0.02	0.02
2.6	端盖轴承孔的圆柱度	传动侧	0～0.024	0～0.026
2.7	轴承外圈与轴承孔的径向间隙	传动侧	0～0.025	0～0.05
		换向器侧	0～0.03	0～0.05
2.8	装配前轴承的径向游隙	传动侧	0.145～0.190	0.145～0.190
		换向器侧	0.053～0.084	0.053～0.084
2.9	装配后轴承的径向游隙	传动侧	0.08～0.105	0.08～0.105
		换向器侧	0.03～0.05	0.03～0.05
2.10	磁极铁心下面的空气隙	主极下面(中心处)	3.36	3.76
		换向极下面	7.5	7.9
2.11	电刷与刷盒方孔中的间隙	沿电刷厚度方向	0.09～0.234	0.28
		沿电刷宽度方向	0.15～0.40	0.50
2.12	刷盒底面与换向器工作面距离		2±0.4	4
2.13	刷盒底面与换向器工作面轴向倾斜度		≤1	≤1
2.14	电刷压力(N)		35.6～44.5	35.6～44.5
2.15	换向工作面直径		$\phi323.9\pm0.5$	$\phi306$
2.16	换向器云母下刻深度		1.27	1.27
2.17	电机试验后换向器工作面跳动量		0～0.04	0.06
2.18	磁极铁心内径	主极(中心处)	$\phi464.3\pm0.4$	$\phi464.3\pm0.4$
		换向极	$\phi472.6\pm0.4$	$\phi472.6\pm0.4$

表 2-21　牵引电动机检修记录

电机编号		制造厂		原装机车		修程		现装机车		
修前状态	绕组名称	主极绕组		附加极绕组		电枢绕组		其他状态		
	冷态绝缘	MΩ		MΩ		MΩ				
	换向器状态									
检修测量记录 / 定子	极称	绝缘	耐压试验	内阻	极距			不良处所	记名	
	主极	MΩ		Ω	mm					
	附加极	MΩ		Ω	mm					
电枢	绝缘	耐压试验	片间电压	换向器直径	大轴承	小轴承	平衡块			
	MΩ		mV	φmm	φm	φmm				
轴承	大轴承				小轴承					
	外径	轴承室径	内套直径	自由间隙	外径	轴承室径	内套直径	自由间隙		
	φmm	φmm	φmm	mm	φmm	φmm	φmm	mm		
油封	安装轴径	mm	油封孔径	φmm	过盈量	mm				
刷架	绝缘	耐压试验	电刷牌号	刷握刷杆	汇流线	各部螺丝				
	MΩ									
	碳刷接触面	刷盒中性位	齿轮接触面	齿轮紧余量	轴承组装间隙					
		mV	%	mm	大	mm	小	mm		
	刷盒与换向器面距离	mm	mm	mm	mm	碳刷弹簧压力				
	刷盒与升高片面距离	mm	mm	mm	mm	最大	N	最小	N	
	换向器跳动量	mm								
空转试验	转向	时间	电压	电流	转速	轴承温升				
	正向	min	V	A	r/min	室温	大	小		
	反向	min	V	A	r/min	℃	K	K		
	换向器表面温度	℃	电枢轴向窜动量	mm						
检修日期	试验日	热态绝缘				装车日期	验收员			
年　月　日	年　　月	主极	MΩ	附加极	MΩ	年　月				

第三节　定子故障检查及修理

一、定子拆装和检查

1. 定子磁极拆装工艺

1）用内径千分尺测量磁极中心处的径向距离，如图 2-3，主极为 a，换向极为 b。为改善换向和减小磁场的畸变，牵引电动机大多采用偏心气隙，因此 a 值必须在极身中心处测量。

2）记下各电缆线的连接关系及各引出电缆的标号及位置

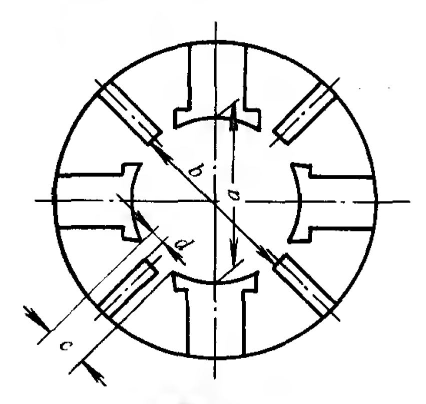


图 2-3　定子磁极装配尺寸示意图

3）用相应电压级的绝缘电阻表检查定子线圈的绝缘状况，如发现有损坏了的线圈，须做好记号以便更换。

4）测定各磁极绕组的极性并做好记录。

5）拆下连接电缆，松开磁极紧固螺栓，逐个取出线圈。

6）记下各磁极和机座间垫片的种类、厚度和数量，主极垫片用以调节转速。换向极垫片分磁性（钢片）和非磁性（黄铜或塑料）垫片二种，分别用以调整换向极的第一和第二气隙。这些垫片，制造厂都已经调整好，在重装时务必保持原样，以免定子重装后转速偏差增大和换向火花变坏。

7）定子重装时应进行磁极找正，用内卡或短柄游标卡测量相邻主极尖间的距离 c，同时测量主极极尖与换向极极尖间的距离 d（见图 2-3）。对大型牵引电动机，同一台上各个 c 的最大和最小值之差应小于 2～3mm；中小型牵引电机为 1.2～1.6mm。同一台电机中 d 的最大和最小值之差应小于 1.2～1.5mm，如超过上述数值，则应松开磁极螺栓进行调整。

8）定子重新装配后要复检极性是否正确，测定各磁极绕组的绝缘电阻是否符合要求，并以规定耐压值的 75% 进行试验。

9）各电缆线应可靠地绑扎，接头螺栓必须拧紧，最好采用弹簧垫圈防松，它比一般止退垫圈可靠，接头上须用云母带及玻璃丝带紧密包扎，并刷绝缘漆防止松散。实践证明，不加填充泥包封，能便于下次拆开接头螺栓，并不影响连接可靠性。

10）机座内壁及线圈表面要擦拭干净，分别喷耐弧磁漆和表面覆盖磁漆。磁极铁心内圆表面刷防锈油，磁极螺栓的沉孔内要灌注沥青，以防止水分和潮气侵入。

11）定子重装或互换电枢后，应重新调整刷握，使电刷处于中性位置上。

2. 定子绕组的连接和极性

（1）定子绕组的正确连接　牵引电动机的四根引出线都连接到机车的主电路内，改变磁极绕组或电枢绕组中的电流方向，即可改变电机的转向，从而实现机车的前进和后退。

图 2-4、2-5 和 2-6 分别绘出几种牵引电动机的定子接线图。

出线标志应刻在金属标片上，然后扣牢于电缆上，以资识别，如已丢失或模糊不清，应认真判别正确并重新标记，因为万一接错，电动机将不能旋转甚至烧毁绕组。

定子修理后应按原始记录或根据制造厂提供的资料进行连接，电缆扎牢后再进行有关项目的检查。

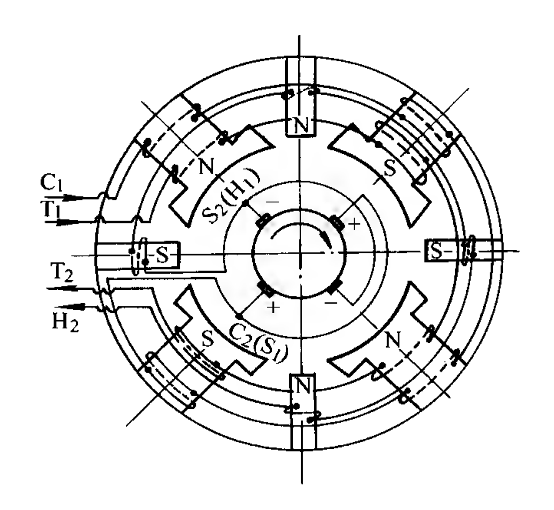


图 2-4　ZQD-5 定子接线图

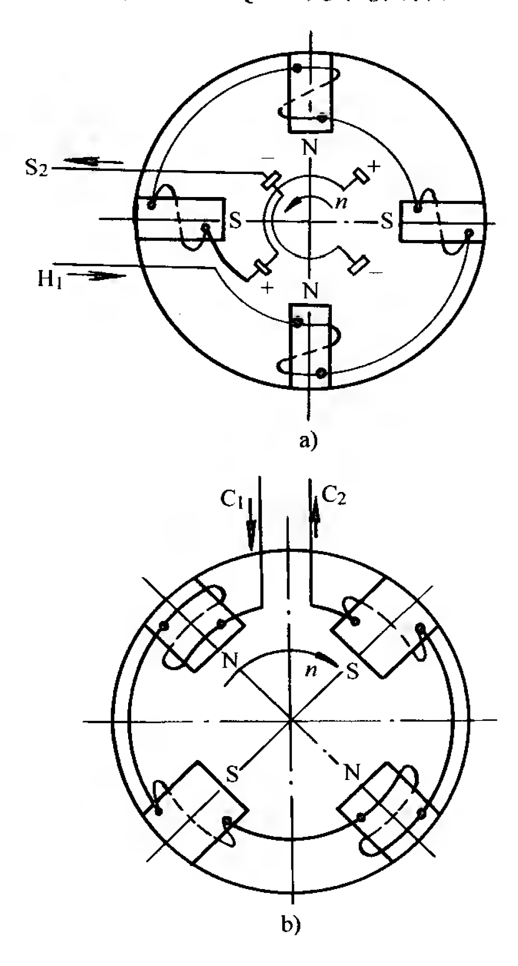


图 2-5　ZQ-110 定子接线图
a）换向器端视附加极连接图
b）轴伸端视主极连接图

牵引电机绕组出线端的标志规定如表 2-22。

（2）定子极性的规定和检查　判别电动机极性的正确性原则：

1）当顺着电枢的旋转方向，相邻同极性的主极和换向极，应是换向极在前，主极在后。

2）对常用的后退式（即左进式）单波型电枢绕组，从换向器端视，当电枢逆时针旋转时，主磁极 N

下的电刷为“正”，S 极下为“负”。

表 2-22

绕组名称	出线端标志	
	始端	末端
电枢绕组	S_1	S_2
串励绕组	C_1	C_2
并励绕组	B_1（或 F_1）	B_2（或 F_2）
他励绕组	T_1（或 W_1）	T_2（或 W_2）
换向极绕组	H_1	H_2
补偿绕组	BC_1	BC_2
起动绕组	Q_1（或 K_1）	Q_2（或 K_2）

图 2-4、2-5、2-6 中各电机的连接，都符合上述二条原则，因此极性都正确。

定子修理时，应注意线圈的极性不可搞错，套装磁极线圈和装配定子时，极性搞反的常见原因是：

1）线圈二面（指机座面和电枢面）装反（图 2-7b）。

2）二端（通常把换向器端为前端，轴伸端为后端）装反（如图 2-7c 示）。正确的极性见图 2-7a。

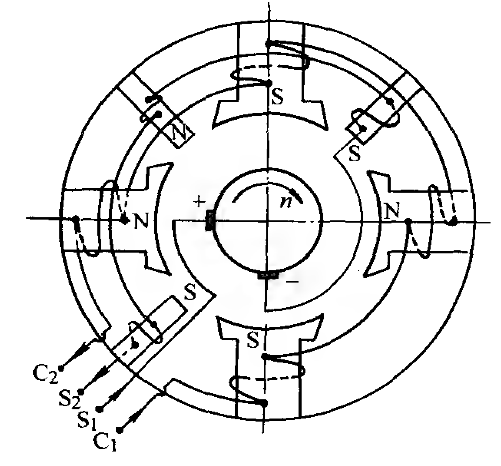


图 2-6 ZQ-21，ZQ-24 定子接线图

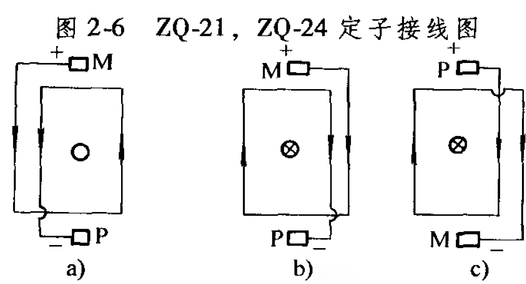


图 2-7 磁极线圈的极性

二、磁极绕组接地故障原因及改进措施（见表 2-23）

表 2-23 磁极绕组接地的原因及改进措施

接地原因	改进措施
传动齿轮啮合不好，电机产生高频冲击振动，磁极绕组承受很大的动力作用	电机维修时，应保证原配大小齿轮啮合，更换时，必须成组一起换
水分、油污、炭粉等侵入，使绝缘性能降低	1）从电机本身及外界结构进行改进，减少水、油、炭粉的侵入 2）提高浸渍漆及复盖漆的质量，增加挂漆量及厚度 3）提高对地绝缘的耐潮、抗污性能 4）提高对地绝缘及外包绝缘的电气强度 5）经常维护清扫，去除污物
磁极绕组的结构不合理，制作工艺有缺陷	1）加装弹簧托板或增加其弹力，消除线圈与铁心和机座之间的相对振动 2）采用一体化结构，加强线圈整体性。取消钢板护壳，磁极线圈内孔与铁心之间的间隙用芳纶耐热绝缘针刺毡 J2941 填塞（俗称适形材料，经浸漆固化后能有效填满不同形状的间隙和缝隙）。用 J1840 等灌注胶浇注来填塞磁极绕组内孔与铁心之间间隙的方法，能更有效地增加线圈的散热，降低绕组的温升，并更有效地增加线圈的一体性并防止线圈与铁心之间的摩擦，其缺点是制造麻烦、成本增加

（续）

接地原因	改　进　措　施
磁极绕组的结构不合理，制作工艺有缺陷	3）进一步合理制造线圈及定子装配工艺 ① 认真清除护壳，垫板等钢板件的尖棱、毛刺 ② 机座与磁极的配合面清理干净、平整 ③ 引出线头处绝缘包扎要紧密，层数要足够，并无损伤 ④ 接线头与机座、端盖间的电气间隙要足够 ⑤ 磁极线圈内弯曲圆角处或内侧引线接头片高出磁极线圈平面，定子装配时，凸出处局部受力常压伤线圈绝缘，为此可用开口绝缘垫板填平。对较小截面绕制的线圈，可采用正、反绕法，使二个引出线头均从外侧引出，如图 2-8 所示，如图正绕部分从第 1 匝处开始，到第 98 匝为末端。预留一定长度的反绕部分从第 99 匝处开始，直到第 104 匝为末端 ⑥ 包扎线圈转角处的绝缘带可适当剪狭，防止因层数重叠过多而线圈套装困难 ⑦ 控制铁心的长度，套装间隙要适当 ⑧ 磁极铁心上先卷包 1～2 层相应绝缘等级的薄膜，以使线圈方便地套入铁心，不致刮伤线圈绝缘，提高电气可靠性 ⑨ 套装线圈应采用加热后压入的方法，严禁用捶，单端倾斜进入
绝缘过热老化	使用于高湿高温，牵引负荷大的区域，负荷变化大，绝缘材料易龟裂收缩甚至粉化、发脆脱落，如这样应更换绝缘

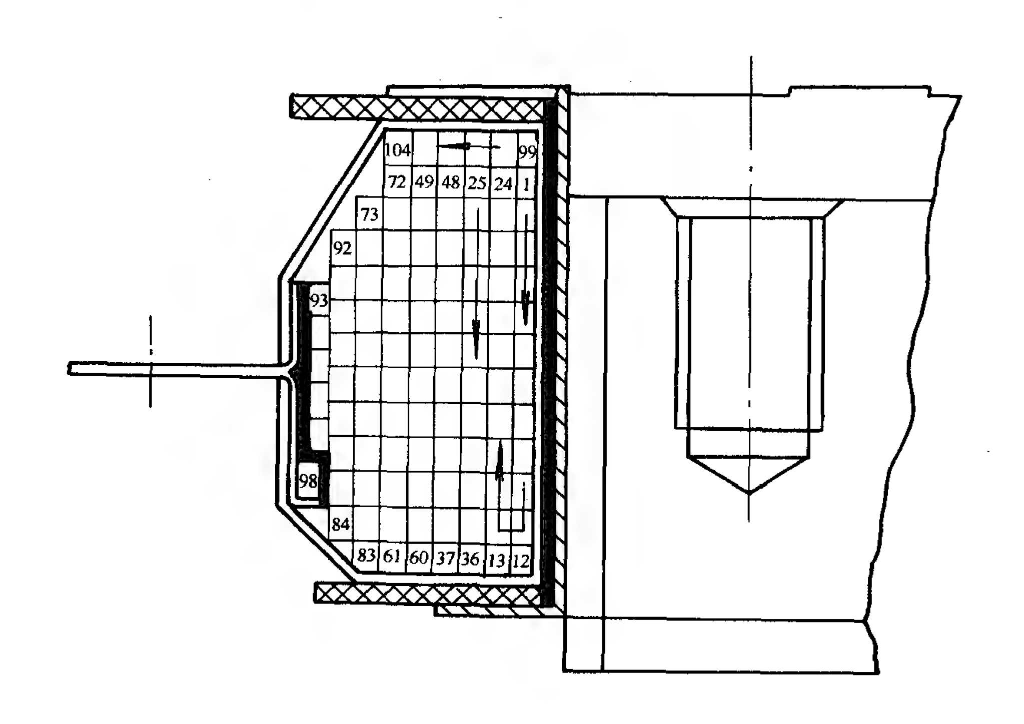


图 2-8　磁极线圈正、反绕法结构图

三、定子连线烧损原因及改进措施

1. 主极连线烧损造成机车牵引电动机拆下修理，已成为牵引电动机损坏的主要原因，特别是引出电缆大线及位于上方和抱轴侧方位的主极连线接点，因冲击振动大而烧损率更高。

2. 主、附极连线烧损原因及改进措施（见表 2-24）

表 2-24　定子连线烧损原因及改进措施

烧损原因	改　进　措　施
1）磁极连线定位间距离太大，悬空部分太长，较强的振动造成连线端部疲劳断裂	1）增加连线固定点，减少悬空部分距离，从而降低作用于连线端部的冲击力
2）蚂蝗钉加线绑式固定卡易松动，绑扎线老化断裂，连线因振动加剧直至折断	2）绑扎线不用棉蜡线，改用较粗的涤纶绳并刷漆，匝间要拉紧，且末端不得有松脱，垫放的绝缘要可靠固定，不可滑动脱落
3）连线的形状和制作工艺要规范，线圈引出线与磁极连线连接处形状尺寸不吻合，易产生连接应力，形状尺寸不吻合时不可强行撬动	3）制作的连线尺寸必须符合设计要求，特别是线圈端部引出部分一定要用样板检查，不可在定子装配时发现形状不对，便用撬棒强行弯扭，造成根部绝缘破损并产生连接应力 用软铜编织线与裸铜线焊接而成的软连线，往往起不到理想的效果，原因是二端的焊锡渗入铜编织线内，软连线实际上仍较硬，不能起到易弯折，易变形的效果
4）磁极连线用裸铜带制作，弯曲圆角处的尺寸误差在强行定位后的附加应力很大，易疲劳断裂	4）改用 0.5mm 左右厚的薄铜皮多层铆接而成，替代两端用冷压或焊接式的接头。由于紫铜片柔性好，易弯曲成型，弯曲应力很小，有效地降低了连线中附加应力的产生
5）电机的异常振动使磁极连线折断为齿轮严重磨损，主极紧固螺钉松动，牵引电动机发生空转等。	5）电机中修及日常检查时，应注意齿轮齿面的磨耗情况及定子螺栓紧固情况，机车操纵中应避免电机空转，磁极连线应尽量采用软连接

四、磁极绕组匝间短路原因及改进措施（见表 2-25）

主磁极绕组匝间短路，使有效励磁匝数减少，导致电动机转速升高。换向极绕线匝间短路，使电枢反应补偿不足，导致换向火花增大。

B 级匝间胶化漆可用环氧酚醛树脂（固体含量的重量比为 7:3，用甲苯或酒精稀释），也可用 B 级浸渍漆，如 1032 号三聚氰胺醇酸树脂漆和 5152 号无溶剂漆。F 级可用 EIU 无溶剂漆。H 级可用硅有机或二苯醚浸渍漆等。

磁极绕组匝间短路的查找法：

1）在空载或额定工况下运行，当施以相同电压时，类比各电机的转速，偏高较多者，则可能是主磁极匝间短路引起。

2）用感应法测定，图 2-9 为工厂实用测试装置。开口铁心宽 80mm，叠厚 120mm，高 190mm。为取放线圈，上铁心条可移开，原线圈套在一个心柱上，也可分成二部分而套在两个心柱上（但此时应注意产生的磁通必须同向）。采用上述铁心尺寸时，可用 3.05mm×5.1mm 的双玻璃丝包扁铜线绕 104.5 匝，二只线圈串联后接 220V 交流电源。

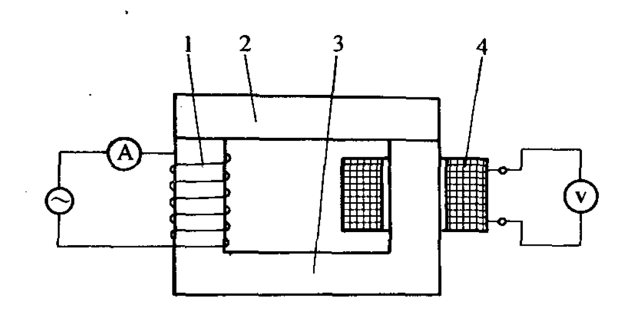


图 2-9　用感应法检查磁极绕组匝间短路
1—原线圈　2—上铁心条　3—开口铁心　4—被测线圈

测试要点及注意事项：

1）要求被测线圈的感应电压为 20～25 倍线圈的额定电压降，所以原边交流电源最好可调。

2）铁心的磁通密度应选用低值，一般可取 1～1.2T 左右，以适应多种线圈测试，同时保证有较高的精度。

3）被测线圈如有匝间短路，则短路匝处很快发热，铁片贴近时有吸力，原边的电流读数将增大。

4）当线圈内孔小于心柱截面时（如测试换向极线圈），可在心柱与上铁心条之间放小铁心，但通电时间不可长，否则发热严重。

表 2-25　磁极绕组匝间短路原因及防止措施

原因	防　止　措　施
线圈绕制和成型时的工艺不当	1）由于导线本身的匝间绝缘（如聚酯漆，玻璃丝等）脱落破损，特别是内侧几层转角处，弯曲半径小，应放置转角补强绝缘。层间跨线处应垫放抗撕裂性能好的薄膜漆布作跨线绝缘 2）内侧向外引的引线接头的铜带绝缘要包扎好，使与相接触一层的多匝导体间可靠绝缘 3）裸铜带平绕或扁绕的磁极绕组垫放的匝间绝缘不应少于2层，要压弧形的线圈最好3层，位置要垫准，匝间绝缘应比铜带宽2mm，常用的匝间绝缘材料及胶化工艺见表2-26 4）线圈在压弧，搬运、堆放过程中，要防止匝间绝缘走动移位或压伤 5）线圈在绕制成型时勿敲打过甚而损伤匝间绝缘
匝间绝缘损坏	1）绝缘老化，应及时更换 2）防止线圈过热 3）防止烘压胶化时温度太高 4）预防有铜刺或其他异物压伤绝缘
其他原因	1）电动机端电压太高，机车操纵不当时，瞬时电压突变时的首匝线圈更易损坏 2）线圈表面的油污及灰尘应及时清理

表 2-26　磁极绕组匝间绝缘材料及胶化工艺

绝缘等级	匝间绝缘材料	加压下匝间胶化工艺
B 级	B 级环氧上胶坯布	100～120 ℃，10～15min；再 150～160 ℃　20～30min
H 级	H 级上胶坯布，NHN	120～140 ℃，10～15min；再 160～180 ℃　10～20min

五、磁极绕组断线原因及改进措施

磁极绕组断线原因及改进措施见表 2-27。

表 2-27　磁极绕组断线原因及改进措施

断线原因	改　进　措　施
电动机冲击振动大	加强电动机支承的弹性，减小线路动力冲击的影响
硬连接的极间连线折断	改用编织软连线或电缆连接，用蚂蝗钉扣牢连线，以减小运行时连线上的动力作用
螺栓联接孔处铜带折断	线圈引出端头与末匝固定处一段铜带用双层，加强该处机械稳定性，如图 2-10
联接螺栓松动	加弹簧垫或其他制动垫圈，螺栓不宜小于 M8，中、大型牵引电机可用二只螺栓紧固
螺栓联接处漆膜未刮净或表面氧化	砂光导电接触表面后重新拧紧螺栓并包绝缘
铜带接长处焊接不良引起断裂	重焊或更换线圈

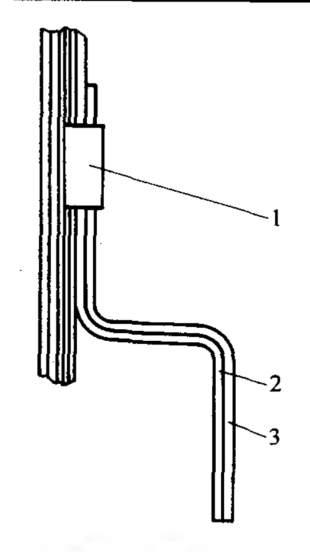


图 2-10　磁极线圈末匝双层加强
1—扣片　2—末匝铜带　3—加强铜带

六、磁极绕组的修复

根据具体损坏的部位及程度，确定修复方法和工艺。

1）找到损坏处所后，应先区分是匝间还是对地损坏，如有二根或多根导体被烧损并熔合一起，则大多是匝间损坏引起，只有一根导体与绝缘烧穿，通常是对地击穿，但经常是先匝间损坏，后再引起对地烧损。

在拆检时，需将线圈导体及所用各种绝缘材料

（如对地、匝间、外包、辅助衬垫等）的型号、规格、包扎方式及层数搞清并详细记录，以使修复的电机保持原有性能。

2）在导体表面或定子连接线部位有小的烧伤，可用工具将烧伤处之炭化物清除干净，然后用环氧涂封（环氧树脂加8%的乙二胺和少量二丁脂），也可用粘带包扎或绝缘漆刷封。

3）用铜带绕制的线圈烧损断面在1/3以下时，可用银焊焊补再锉修平整。损坏严重时可先剪断或锯下已烧成铜瘤的部分，再将预制好同规格同形状的铜带焊上，焊接处应放银合金银片，撒上硼砂粉，用氧气吹热到焊片及铜导体熔化为止。焊时要注意保护其它部位的绝缘，用石棉板挡住火焰。

4）修复后的线圈应再检查匝间短路，可用玻璃坯布垫入，也可用带状绝缘包扎，经检查无匝间短路后，再刷或浸一次绝缘漆，使整体性得以加强。

5）包对地绝缘前，应将导线与对地绝缘带之间的空隙用填充泥填满，以加强散热并提高机械和电气性能。填充泥的配方为石英粉65%，石棉粉10%，相应绝缘等级的浸渍漆25%，搅拌均匀后成于糊状即可。

我国很多机务段及修理工厂对国内、外牵引电动机磁极线圈修理中积累了很多实践经验，如磁极线圈端头引接部分刮伤严重的，通过拼接、堆焊并回火，仍能修整回用。匝间绝缘已老化损坏的，必须更换，重新垫入新绝缘，并匝间热压胶化，检查确认匝间完好后再包扎对地及外包绝缘。

牵引电动机的磁极绕组对地绝缘大多采用连续半叠包方式，当用0.13~0.14mm的云母带时，对550V及以下的电压级，不应少于2层；750V级和1500V级不少于3和4层。云母带的缺点是机械强度差，包扎过程中和使用时易磨破损伤，目前大功率的牵引电动机磁极绕组，常用聚酰亚胺薄膜带先包扎两层，以加强对地绝缘强度。最外层用0.1厚的浸渍玻璃丝带半叠包一层。目前，部分中小牵引电动机的磁极线圈上采用框架式绝缘结构，其特点是取消传统的半叠绕对地绝缘的方式，用云母箔或纤维纸卷在闭口的钢板护壳上，再套上已半叠包一层玻璃丝带的磁极线圈（预先浸好漆），上、下用框形布板制的绝缘垫板垫平，以提高绝缘性能并增大漏电距离，其结构详见图2-8。这种结构具有工序简单、套装方便、节省工时和容易散热等优点，但是在一些环境条件恶劣的矿山，反映电气击穿率较高，这是由于该种结构明显的弱点所致，磁极绕组内侧最下层的一匝与铁壳护套间漏电距离太小，绝缘又很薄弱，一旦该处受潮和积灰后极易击穿，据资料介绍，法国某公司生产的直流牵引电动机，磁极线圈常采用框架式绝缘，但在框架拐角之接缝处采用Dacron（相当于国内的聚酯毡）衬垫密封。因此目前我国中小牵引电机上采用的框架式绝缘结构不适应井下使用条件，必须采用有效的改进措施，如易漏电击穿的下层内侧线匝处，在绕线时应绕包云母带或薄膜粘带，在框架拐角的接缝处用聚酯毡或涂封胶等密封，以克服该处漏电击穿之弊端。

第四节　电枢故障检查及修理

一、电枢故障类型和检查方法

1. 电枢故障类型

直流牵引电动机电枢的电气故障有匝间短路、接地、断路、绝缘电阻低和开焊甩锡等。常见的机械故障有绑扎松散、槽楔飞出、轴裂纹折断以及轴伸锥面损伤等。电枢修理时，常需更换部分甚至全部绕组，此时除不应有匝间短路、接地和断路故障外，还应注意换向片节距及嵌头的正确，防止少跨一片、多跨一片、相邻匝线头交叉嵌错及其它较复杂的线头嵌错等。

为了确保电枢正常运行，对修理好的电枢，必须经过严格的检验，方可进行焊头、绑扎及浸漆。此外，在精车换向器及下刻云母槽之后，还必须再次进行检验，直至该电枢确无任何故障后，方可流入下道工序。

2. 电枢故障检查方法

检查电枢故障除采用观察（眼看鼻闻）、测定绕组绝缘电阻、耐压试验、校灯、短路侦察器及电压降法外，在直流牵引电机中，现已普遍采用下面几种仪器。

（1）TY型牵引电动机绝缘检测仪　各种类型的牵引电动机在修理时，以往都进行工频交流耐压试验，由于使用过的电枢，都不同程度存在受潮、污损、机械损伤和绝缘老化等情况，因此在进行常规耐压试验中击穿比例较大。据大量运行实践统计，电枢早期接地的主要原因，并不是绝缘的自然老化，而是由于机车运行中的低频振动和传动齿轮啮合不良而引起的高频“扭振”所造成，本仪器主要适用于检测具有机械损伤的牵引电动机的主绝缘状态，根据泄漏电流的变化趋势，即可判断电动机绝缘内部是否存在机械损伤及裂缝。

该检测仪是采用直流高压泄漏电流法来检测主绝缘状态。直流高压与工频交流耐压的比值可取为2:1，

如对打 2500V 交流耐压的电机打直流 5000V，此时泄漏电流小于 50μA 时，表明电机绝缘良好，可保证安全运行，绝缘电阻可达几百 MΩ 以上。当外加高压上升到一定数值时，如微安表的指针出现一定幅度的摆动，这表明绝缘内部存在机械破损。对于此类电机，应进行清洗、浸漆、烘干处理，以恢复电机绝缘性能，延长使用寿命（图 2-11）。

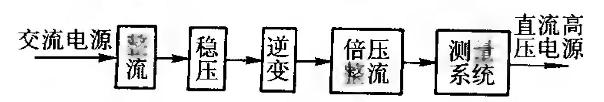


图 2-11　绝缘检测仪框图

当外加直流高压逐级升高，泄漏电流增量相当大，随外加直流高压的变化率为线性关系，这表明电机潮湿，绝缘电阻都为几兆欧。

TY 型牵引电动机绝缘检测仪的最高输出直流高压为 6kV，已能满足各类牵引电动机耐压试验需要，最大输出电流为 1mA，采用 220V 交流电源供电。此检测仪可单人便携使用，安全方便，读数又不受网压波动的影响。

（2）TA 型便携式电机匝间耐压检测仪，该仪器适用于检测直流电机电枢线圈的匝间耐压和匝间短路故障，特别适用于检测阻抗值相当低的单匝电枢线圈的匝间绝缘状态。

该仪器采用脉冲放电原理，产生 100～500V 的脉冲电压（幅值），且电压连续可调，供用户选择，将此脉冲电压加到换向器的相邻的二换向片上，即可对匝间进行检测。实践证明，对中大功率的牵引电动机电枢，当匝间试验电压达 300～350V 以上时，暴露电机匝间隐患的功能远较中频机试验法为好，比采用电压降法和短路侦察器法更有效。

该仪器的主电路原理图见图 2-12，主要分为半波充电电路和电容-电感（被试线圈）放电电路二部分。

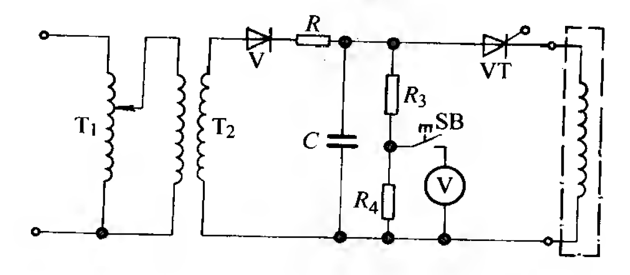


图 2-12　TA 型电机匝间耐压检测仪主电路图

（3）JDJ-Ⅱ型电机检测仪　这是一种具有多种用途的电机故障检测仪器，目前主要用作直流牵引电机电枢的短路和接地检查，也可用它进行换向器片间压降检查和测定电刷的火花等级及电刷对中心情况。

电路由以下几部分组成：

1）接地检测电源及其触发器

2）片间电压检测及电刷对中心用电源

3）直流稳压电源

4）匝间短路检测信号发生器

5）测量放大器

用该仪器测量电枢匝间短路和接地时，灵敏度较高，测量方便迅速，非常适合牵引电机制造和维修部门使用。

（4）TZ 型接触电阻检测仪

采用检测换向器片间电压降的方法，实践证明并不完善，因为此时要通入一个电流，而加在换向器上的电压又没有稳压措施，因此对片间电压降就有一定的读数偏差。一般较大功率的牵引电动机，大多采用带有均压线的单叠绕组，使电枢绕组形成一个更为复杂的网络，使片间电压降值产生更大的误差，这些误差将使我们判别电枢绕组实际存在的故障更为困难。

用 TZ 型接触电阻检测仪来测量换向器的片间电阻值，可快速而准确地直读 2μΩ 以上的低值电阻，工作稳定可靠，与常用的双臂电桥相比，可节省大量操作时间。TZ 仪器的两支测笔压向被测点即可，笔与被测表面间的接触电阻并不影响测试数据。

3. 电压降法测定电枢故障实例

（1）单波绕组的内部连接　直流电机的电枢绕组在嵌入换向片后，形成一个闭合绕组，为了便于分析和判别绕组的各种故障，绘出绕组连接图并找出彼此连接的规律，是十分必要的。

现以 ZQ-24 型直流牵引电动机为例，已知电枢部分的有关数据：磁极对数 $p=2$，换向片数 $K=185$，并联支路数 $a=2$，槽数 $Z=37$，每槽换向片数 $U_S=5$，槽节距 $y_Z=9$（1～10），换向器节距 $y_K=92$（1～93），每元件匝数 $N=3$，每只绕组元件电阻值 $R_{a1}=0.0077\Omega$。由此可绘出电枢接线展开如图 2-13 所示。

首先看一下连接相邻两换向片 1 和 185 间的绕组元件：

片 1-1（3）$\xrightarrow{R_{a1}}$ 10′（3）——片 93′——片 93——19（5）$\xrightarrow{R_{a1}}$28′（5）——片 185′，其中带“′”表示在下层的导线。

但是连接片 1 和 185 的并不只有上述的二个绕组元件串联而成的一路，因为该路仅连接了片 1 的上层和片 185 的下层，还有一路连接着片 1 的下层和片 185 的上层，该二路都连接到片 1 和片 185 上。按每串联两个绕组元件而换向片向前推进一片的规律可知，该路上共串联（K-P）只绕组元件，如图 2-14 所示。

一般，当欲求相隔距离为 n 片（即第 1～$n+1$）

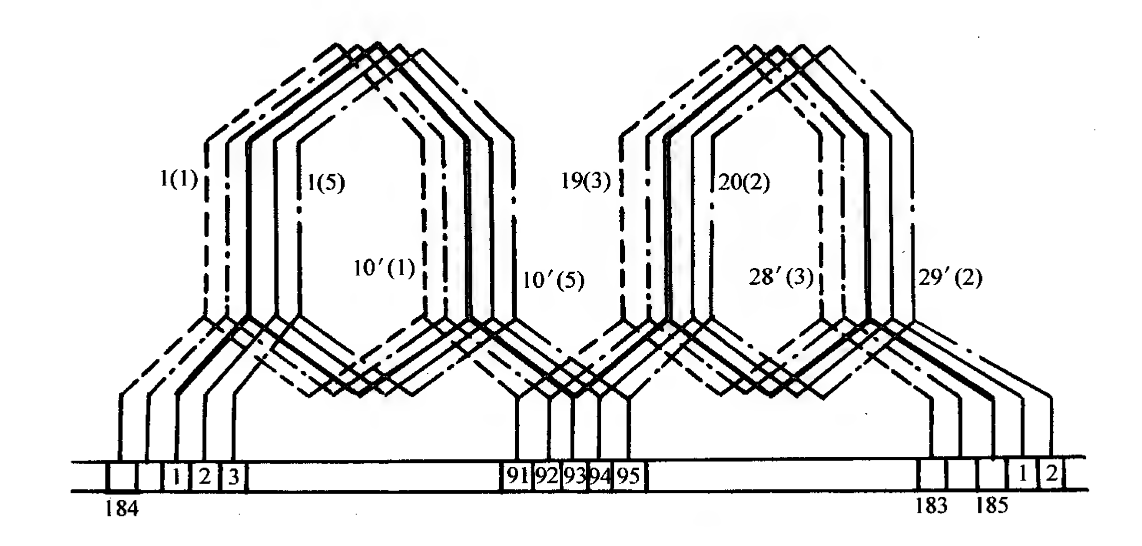


图 2-13　ZQ-24 电枢接线展开图

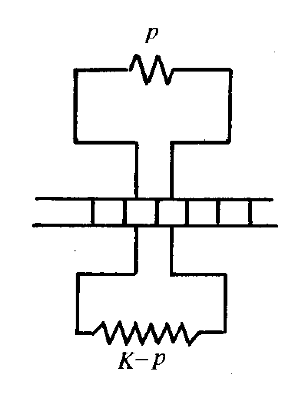
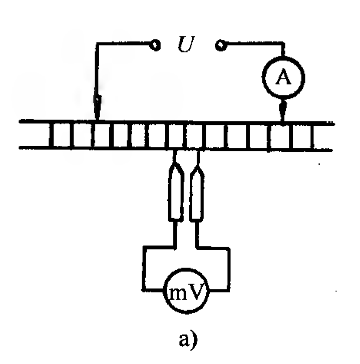


图 2-14　相邻两换向片间电枢电阻两路并联示意图



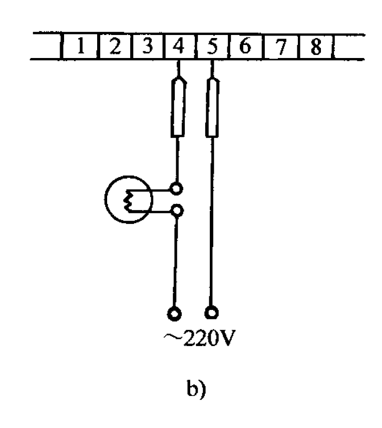


图 2-15　用电压降法检验电枢

的二片之间的电阻时，可用下面公式计算

$$R_n = \frac{1}{\frac{1}{2nR_{a1}} + \frac{1}{(K-2n)R_{a1}}} \tag{2-16}$$

式中　R_{a1}——一个元件的电阻。

如求相邻两片间的电枢电阻时（通常称片数为 1 ~2），则以 $n=2-1=1$ 代入，如求第 1 ~ 15 片的电阻值，则以 $n=14$ 代入，如以极距片数代入，即可算得其电枢电阻值。如 ZQ-24 牵引电动机的电枢每极距的片数为 1 ~ 47，即以 $n=46$、$R_{a1}=0.0077\Omega$ 代入公式（2-16），可得到 ZQ-24 的电枢电阻 $R1\sim47=0.356\Omega$。

（2）电压降法测定电枢的实例及分析

1）电枢正常时　任何四极单波电枢绕组，用电压降法测量时，相邻两片的电压降应等于相串联两绕组元件的电压降，对正常电枢，所有绕组元件的电阻均可认为相等，在被测区内，流过相同的电流，所以此时所有相邻两片间的毫伏读数应相等。测量装置见图 2-15。

仍以 ZQ-24 电枢为例，从片 1 和片 38 上引入直流电，测得电压为 1.8V，电流为 3.1A，测得相邻片间的电压降为 48mV，试核算之。

相邻两片间压降 $U_{1\sim2}=\frac{1.8}{38-1}=0.0486\text{V}=48.6\text{mV}$，或 $U_{1\sim2}=3.1\times2\times0.0077=0.0477\text{V}=47.7\text{mV}$。两种计算方法都验证了测量数据是正确的。

2）电枢故障时　如表 2-28 所示，均以 ZQ-24 为例说明。

表 2-28 用电压降法测定故障电枢

故障类别	分析图	电压降法测量结果及分析
换向器节距 y_k 多嵌一片	见图 2-16	片间压降均匀，用此法不能查出多嵌一片故障，连接图和正常时（图 2-13）相似，只不过是片 2 代替了片 185，一个是后退的，一个是前进的。检查方法： 1）电枢电流方向反了，呈现与正常电枢相反的极性，用指南针或高斯计可查出 2）装成电动机后，转向和其它正常电机相反
y_k 少嵌一片	见图 2-17	毫伏表的读数时大时小，指针偏转方向忽左忽右，则可初步判定是换向器节距少嵌一片。如换向片数不是 3 的倍数，则当 y_k 少跨一片时，电枢将成如图 2-17 所示的全部绕组元件串联的单闭路绕组。此时可以把全部换向片号分为 $3n$，$3n+1$，$3n+2$ 三组，该三组的绕组元件顺序全部串联完毕 当换向片数是 3 的倍数（如电枢虚槽数为 3 或槽数是 3 的倍数时），则整个电枢绕组成为一个三闭路绕组，全部绕组元件分为互相独立的三组，换向器片上用万用表测量时，1～2 片，1～3 片均不通，1～4 片则通
一个绕组元件断路	见图 2-13	找出相邻二片间的毫伏数特大时（称该二片的序号为 1、2），且其周围的相邻二片，如 2～3，185～1，3～4，184～185 间均为零。移动引电线夹后，发现原二片的对面处也有相邻两片，其毫伏数也为特大（数出该二片的序号为 93、94），此时可判定是绕组元件断路引起，下面来寻找断路的绕组元件。根据毫伏表特别大的片号为 1，2 和 93，94，选接片 1，2 的两个绕组元件是 2～94、94～1、连接片 93、94 的两绕组元件是 94～1，1～93，其中 94～1 这个绕组元件是共有的，也就是断路的绕组元件。经拆检，将片 94 和片 1 的上层线头脱出换向片，测出 94～1 绕组元件的电阻值为 23Ω，证明確是该线圈断路，但用 220V 校灯测此绕组元件时电铃仍响，表明尚未完全断开，拆出线圈后发现是后鼻端 R 处断裂引起的
电枢绕组接地	见图 2-18	若电枢上有一点接地，由于不能构成回路，电机仍能正常工作。电压降法不能找到接地点，而必须用电压表法 将电压表的一端始终搭地（如搭在轴上），另一端沿换向器上逐片移动，当移到某片（设为片 1）时，电压表的读数为零，搭在片 1 的左或右时，电压表指针分别向两方向偏摆。此时再将电压表搭换向片的一端移到对面处，发现在第 93，94 片处，电压表指针分别向左及右的读数为最小（近于零）。则由此可判定是 1～93 这一绕组元件接地了，而且接地点在离片 1 较近的一端。拆检发现接地是片 1 所连线圈进电枢铁心的槽口处绝缘被凸片刺破而引起的
电枢绕组嵌入升高片处接触不良	见图 2-19	正常的两片之间压降均为 40mV，而某二片处增大到 90mV（接触越不好，此值越大）。设该二片的序号为 1 和 2，在相隔约 180 度处也有一个相邻两片，其压降也为 90mV，数得该二片的序号为 94 和 95 1、2 二片所连接的绕组元件是 2～94 和 94～1，94 和 95 二片所连接的绕组元件是 95～2 和 2～94，其中 2～94 是共有的，即为故障元件。可在片 2 所连接的上层和片 94 所连接的下层元件嵌入升高片处去查找。经拆检，发现片 2 的上层线嵌入升高片处间隙较大，且渗入了绝缘漆，产生了接触不良而使压降增大。铜导体本身的玻璃丝或绝缘漆未清除干净就嵌到换向片中或该处未焊好，也会产生此结果

（续）

<table>
<tr><th>故障类别</th><th>分析图</th><th>电压降法测量结果及分析</th></tr>
<tr><td>嵌入某二片的二匝元件互换调错</td><td>见图 2-19</td><td>在嵌线正确时，第 28 槽的下层 4、5 两个元件 28′（4）和 28′（5）应分别对应嵌入片 184 和 185，现错误地将 28′（4）嵌入片 185，而 28′（5）嵌入片 184，结果片 185——1（2）——10′（2）——片 92′——19（4）——28′（4）——片 185 所连的二个绕组元件自成闭路，没有被接入到电枢绕组元件的闭合回路中，该二绕组中没有电流。根据上述分析，如用电压降法检查时可发现如下规律：
1）毫伏表的一端指在片 92 或 185 上时，另一端搭在其他的任一换向片上，毫伏表的读数为零，也可以用万用表的欧姆档来测定，如一端搭在片 92 或 185 上，另一端搭任一片时都不通
2）片 184～1 和 91～93 间（均隔开了一片）的电压降等于其他任何相邻两换向片间的电压降（正常值），而其余在隔开一片的两换向片上的压降为正常值的两倍。实践证明，如果是嵌入 184 和 185 两换向片的上层元件对调嵌错，其结果和下层元件对调嵌错相同</td></tr>
<tr><td>匝间短路</td><td>见图 2-20</td><td>在用压降法测定各相邻两换向片间的毫伏时，大多是某二片之间的小于正常值，设该二片的序号为 94，95），而在其相隔约 180°处则有三片（即二个压降）之间的压降也小于正常值，（但比 94～95 间的大些），定该三片的序号为 1，2，3。具体测得的数据如下：
<table>
<tr><th rowspan="2">转子序号</th><th colspan="4">相邻两片间的电压降/mV</th></tr>
<tr><th>正常值</th><th>1～2 片间</th><th>2～3 片间</th><th>94～95 片间</th></tr>
<tr><td>1</td><td>40</td><td>20</td><td>20</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>60</td><td>39</td><td>39</td><td>18</td></tr>
<tr><td>3</td><td>48</td><td>27</td><td>27</td><td>8</td></tr>
<tr><td>4</td><td>40</td><td>30</td><td>30</td><td>18</td></tr>
</table>
从上表中的数值，不难发现有如下的关系：
$$U_{1-2}=U_{2-3}=\frac{U_{正常}}{2}+\frac{U_{94-95}}{2} \quad (2\text{-}17)$$
这一关系式可由图 2-20 来分析证明，U_{1-2}是绕组元件 2-94′和 94-1′压降之和，这分别是上式中的两项之和，由于在 C 点处短路了，所以绕组元件 94～1′中的压降只剩下 94～C 这一段了。由于短路片数多少的不同，压降减小的片数也不相同，但短路点总是在片数少的一面和压降最小的换向片所连的绕组元件内
根据压降减小的比例来大致判定短路点的位置，具有一定的实际意义。如 $U_{94-95}\approx 0$，则短路点在靠近换向片处。该值越大，离换向片越远，但是这只能是在短路处接触电阻近于零（俗称死短路）的情况下才能成立，因此这个方法只能作为拆修时参考</td></tr>
<tr><td>相邻三片的三个绕组元件交叉嵌错</td><td>见图 2-21</td><td>ZQ110-1 电枢，槽数 39，每槽 5 片，极节距 10（1～11），换向器节距 97（1～98），用压降法测得换向器上有二处各三片的毫伏小，正常均为 20，片 1～2，99～100 间为 0，片 2～3，98～99 间为 13.5，根据一般经验，不能确定故障情况。拆检时，挑出片 1、2、3、98、99、100 的上层电枢线头（二根并绕的二个导体均需从换向片中挑出），用 220V 校灯找到各导体所跨接的换向片号，二个并绕导体记为（a）、（b）。如下：
线头 1（a）——片 100
线头 1（b）——片 98
线头 2（a）——片 98
线头 2（b）——片 99
线头 3（a）——片 99
线头 3（b）——片 100
根据 $y_k=97$（1～98）可见，其中打＊号的三处跨距不对。进一步拆检时发现应嵌入片 98 的下层线头误嵌入片 100，如图 2-21 所示。到此就可以画出实际的电路图，计算出 U_{2-3}，U_{98-99}的压降为正常值的 2/3，即实测的 13.5:20 的关系</td></tr>
</table>

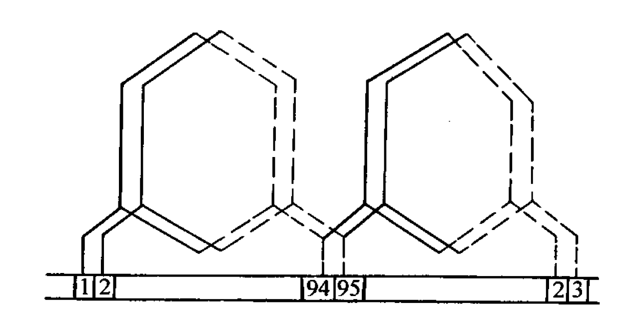


图 2-16　ZQ-24 换向器节距多嵌一片接线图

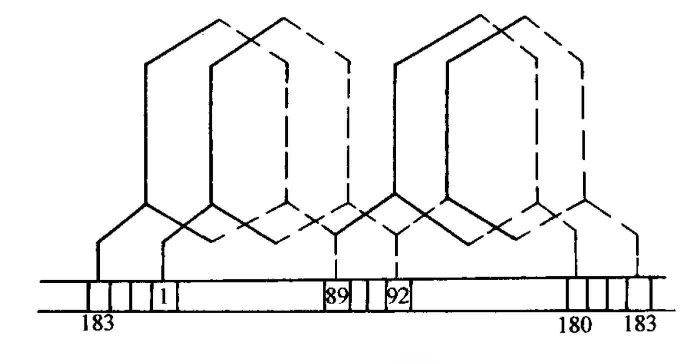


图 2-17　ZQ-24 换向器节距少嵌一片接线图

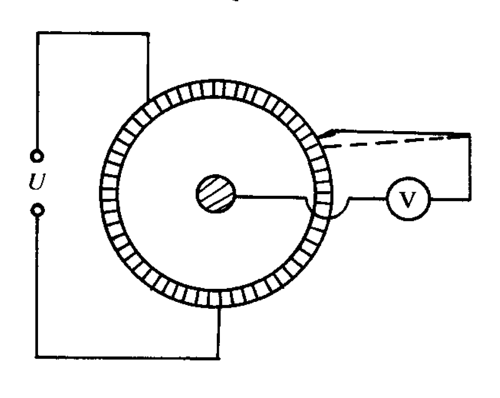


图 2-18　电压表法测电枢接地

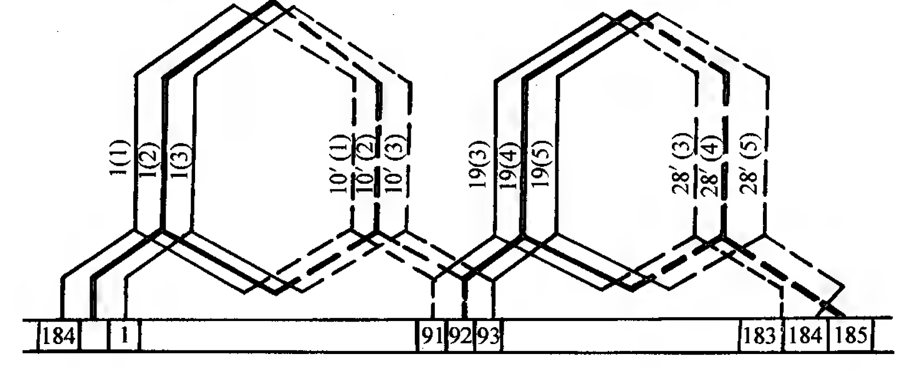


图 2-19　波绕组二片嵌反

图 2-20　波绕组匝间短路

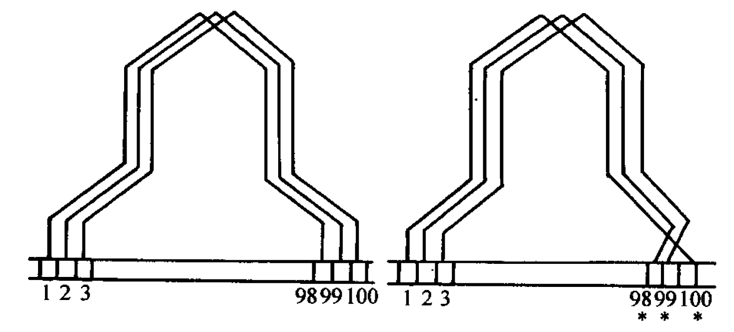


图 2-21　相邻三片的三个绕组元件嵌错

（3）单叠绕组的内部连接

在中、小型牵引电动机中，大多采用 $2a=2$ 的波绕组，因为波绕组比叠绕组制造简单，并且可以不用均压线。但当电动机容量增加或电枢电流超过 400A 时，换向片数就会显得不够，换向片间的平均电压就会超过许可的数值，电枢绕组每一并联支路的电流就较大，这时则必须采用 $2a=2p$，即并联支路对数等于磁极对数的叠绕组，并且需要采用均压连接。

下面以米轨机车常采用的 ZQDR-250 牵引电动机的电枢为例来说明单叠型电枢绕组的内部连接关系（图 2-22）。其电枢的有关制造数据如下：

槽数 58　　换向片数 232

槽节距 1～15　　换向器节距 1～2

铁心长 260　　均压线节距 1～117

图中，29-1 为第 29 槽中的第 1 个上层元件，15-1′为第 15 槽中的第 1 只下层元件，下方 115、114……3、2、1 和 232、231 为换向片号。换向片和绕组元件排例关系如下：

上层换向片	上层绕组元件	下层绕组元件	下层换向片号
31	15-1	1-1′	30′
30	15-2	1-2′	29′
29	15-3	1-3′	28′
28	15-4	1-4′	27′
27	14-1	58-1′	26′
26	14-2	58-2′	25′
25	14-3	58-3′	24′
24	14-4	58-4′	23′
3	8-1	52-1′	2′
2	8-2	52-2′	1′
1	8-3	52-3′	232′
232	8-4	52-4′	231′

（续）

上层换向片	上层绕组元件	下层绕组元件	下层换向片号
207	1-1	45-1′	206′
206	1-2	45-2′	205′
205	1-3	45-3′	204′
191	55-1	41-1′	190′
190	55-2	41-2′	189′
189	55-3	41-3′	188′
91	30-1	16-1′	90′
90	30-2	16-2′	89′
89	30-3	16-3′	88′
47	19-1	5-1′	46′
46	19-2	5-2′	45′
45	19-3	5-3′	44′
32	16-4	2-4′	31′
31	15-1	1-1′	30′

这时已回到起始的换向片及电枢线圈号。

（4）单叠绕组电枢电阻值的计算

单叠绕组的特点是 $y_K=1$，设换向片数为 K，极对数为 p，每一个绕组元件电阻值的计算和前单波绕组时的方法相同，记为 R_{a1}。则相邻两个换向片之间的电阻值 $R_{a1\sim2}$ 为 1 个绕组元件的电阻值和（$K-1$）个绕组元件串联的电阻值二路并联后的电阻，近似为 1 个绕组元件的电阻值。欲求相隔 n 个换向片的电枢电阻时：

$$R_{an}=\frac{1}{\dfrac{1}{nR_{a1}}+\dfrac{1}{(K-n)R_{a1}}} \tag{2-18}$$

如 $p=1$，极距片数为 $\frac{K}{2}$，则以 $n=\frac{K}{2}$ 代入到式（2-18）中，则可得电枢电阻 R_a

$$R_a=\frac{1}{KR_{a1}} \tag{2-19}$$

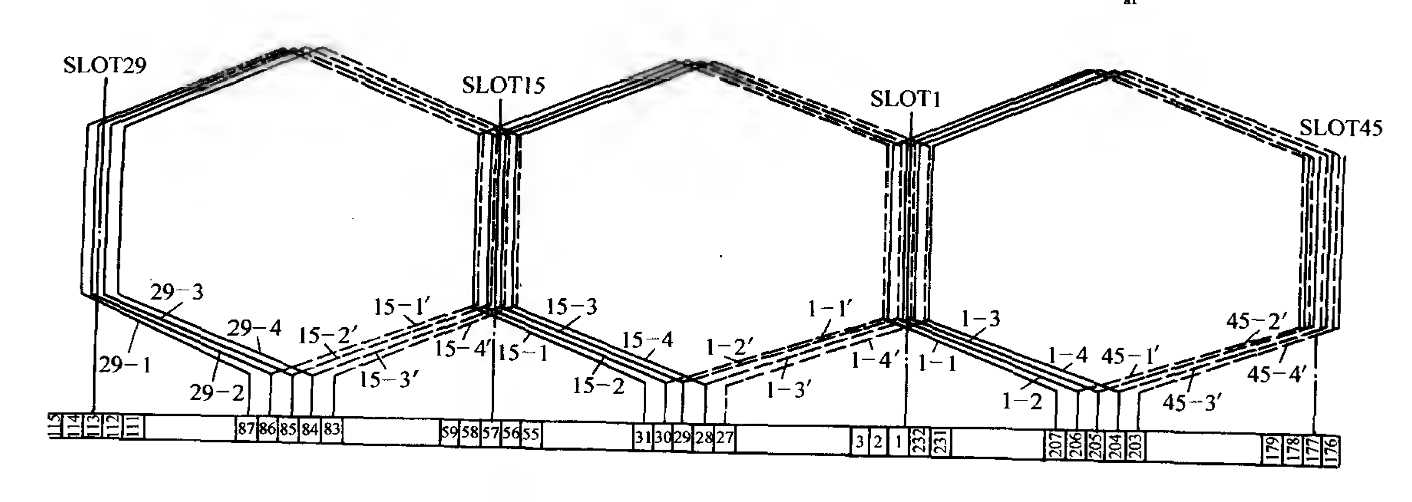


图 2-22　ZQDR-250 牵引电动机电枢连接图

二、电枢常见故障原因及修理

1. 电枢绕组匝间短路

匝间短路是电枢最常见的故障，它使电枢过热烧损并使火花增大。常见的原因及防止方法见表 2-29。

2. 电枢绕组接地

电枢接地大多发生在铁心槽口和槽底、而在换向器及绕组端部支架等处较少见。电枢接地是牵引电机运行中的最常见的故障，其原因和防止方法见表 2-30。

表 2-29　电枢绕组匝间短路的原因及防止

故障	原　　因	防　止　方　法
换向片短路	1）3°面密封不好，有焊锡皮，铜屑或炭粉侵入 2）下刻的云母槽内积聚炭粉或金属屑 3）工作面的退刀槽口残留卷状铜末形成“导电桥” 4）电枢焊头时的熔锡飞溅到换向器上 5）下线时，换向片槽内的锡皮被挤出并附在相邻换向片上	1）3°面间隙应尽量小而均匀，入口处一圈用环氧树脂或玻璃丝带等其他方法可靠填封 2）加强工艺措施，认真维护清理 3）表面加工后清理干净 4）焊头后应认真清理 5）换向片开槽宽不要过小，确保留有 0.2mm 间隙

（续）

故障	原因	防止方法
电枢绕组匝间短路	1）电枢焊头时，锡渗入到前端部各匝之间的缝隙及表面	1）焊头时应控制锡层的高度及锡量
	2）电枢绕组前端头部去除绝缘层并搪锡后修包绝缘短，嵌线时匝间隔离不好	2）嵌线时用薄膜漆布和玻璃丝带波形状垫放，750V 以上的牵引电机应在匝间垫放玻璃布板
	3）鼻部弯曲处匝间绝缘破损，修补和垫放加强衬垫不当，下线时鼻端或端部敲击过甚	3）鼻部匝间及相邻线圈鼻下垫放形状合适的加强衬垫，鼻部破损处用玻璃丝带或套管加强，下线时不能敲击过甚
	4）工作场所及工具不清洁，包扎绝缘时有灰尘和金属屑落入	4）加强文明生产和管理，改善工作条件
	5）碳粉、油污和水分等侵入电枢端部	5）修理时应打开无纬带进行彻底吹扫，然后用洗涤剂冲洗。较大容量的牵引电机可用填充泥把端部线圈间的所有间隙塞满，这是防止炭粉侵入的有效措施。实践证明这些措施，还可作为端部绝缘的机械保护，对减少电枢线圈匝间短路十分有效
	6）匝间绝缘薄弱，校验不严格	6）选择匝间绝缘性能好的导线，如薄膜导线或单丝包薄膜双重绝缘导线等。电枢嵌线后，应采用中频或其他仪器进行匝间耐压试验，电压为 1.3 倍最大片间电压（不小于 50V），用 TA 型匝间耐压检测仪测试

表 2-30　电枢绕组接地原因及防止方法

接地原因	防止方法
1）下线时槽口处敲击使绝缘损伤，加上运行时电磁力的反复作用，使损伤扩大直至对地击穿	1）此类损伤只能减少而无法避免。槽口处应填放 U 形加强衬垫，槽宽下线间隙不宜太大
2）主绝缘本身电气强度薄弱，包扎层数和厚度不足	2）改换主绝缘材料或增加厚度
3）绝缘老化	3）更换主绝缘
4）油污，碳粉和水气侵入	4）彻底吹扫和清洗，必要时更换线圈
5）电枢冲片槽形不齐，尖角毛刺穿破绝缘	5）整修铁心槽形
6）多匝电枢线圈的三叉部位处，绝缘包扎不密封	6）上、下层线圈分别包扎对地绝缘
7）紧圈式换向器本身易受碳粉侵入造成换向器内部接地	7）修理困难，以改用拱式换向器为妥
8）电枢前端部密封性不好	8）前端部无纬带尽量扎到升高片上和电枢铁心上，把前端部全部覆盖

3. 电枢绕组断路的原因

1）电枢匝间短路或接地时产生的高热和电弧烧断导体。

2）铜导线上接头碰焊处和鼻部弯曲处受机械应力或外力冲击后断裂。

3）电枢导体用锡脱焊或升高片断裂。

4. 电枢绝缘电阻低的原因

1）绝缘老化或原有损伤逐步恶化。

2）齿轮油从轴伸油封处窜入电机。

3）潮汽和水侵入电机内部。

4）碳粉侵入电机内部。

5. 电枢受潮

1）电枢受潮的检验　电枢受潮后，绝缘电阻将很快下降直至零，如仅是电枢线圈受潮，则一经烘干，大多能使绝缘电阻回升，换向器内部进水时则修复要困难些。为检验电枢是否受潮和受潮程度，可用一只毫伏表，其两端分别碰触在换向器和轴上（图 2-23）电枢上不通电，如换向器内有水，则毫伏表的指针会偏转，毫伏越大，受潮越严重中等容量的牵引电动机，高时可达 100mV 以上。其原因是：当绝缘材料受潮后，增大了材料的介电系数，在 V 形云母环两侧的铜-轴间，相当于电容器的两极板，云母电介质产生了新的极化，电极板上产生了新的感应束缚电荷，从而产生新的附加电场的缘故。

2）电枢受潮的修复　先将受潮的电枢进行烘干，如仅是电枢绕组受潮而换向器内未进水，则绝缘电阻会较快回升。但一旦换向器内部进水，虽经烘干，由于水蒸气及热态水不易从换向器内向外排出，当温度

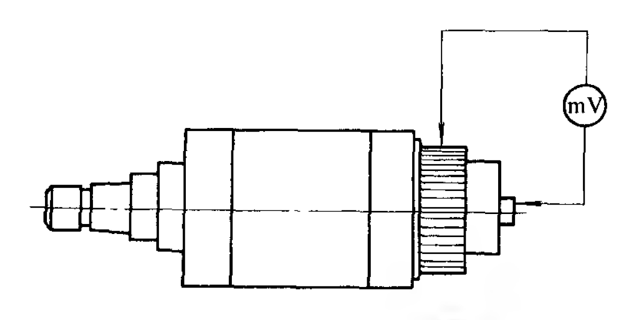


图 2-23　用毫伏表检查受潮电枢

下降后又冷凝成水，仍聚集在换向器内，即使长期真空干燥也徒劳，因此，如何排出积聚在换向器内部的水分，就成为修复的关键，为此，可先将换向器表面箍紧，如打钢丝箍或套上压模，然后在加压下拧松换向器螺母或螺栓，进炉烘干后趁热用木槌轻击换向器压圈端平面，使原密封的 3°面上产生缝隙，这时过热的水蒸汽就会立即从缝隙处喷射而出，同时沸水沿 3°面一圈向下滴，经这样的滴水放气反复几次，可将换向器内部积水排除干净。如将外侧的换向器压圈拆下，使 V 形云母环及绝缘筒敞开进行烘干，则烘干的速度更快。

由于云母的质地较松软，经受潮和反复烘燥，挥发物已充分排出，此时换向器的片间压力已降低很多，为此必须重新进行热压、冷压及旋紧换向器螺母（或螺栓），并重新加工换向器工作面，换向器紧定螺钉需相应移位。

6. 电枢焊接点开焊

电枢绕组导体和换向器升高片处必须焊牢，并要求接触电阻小，导电良好，焊接热影响范围小，使不致损伤绝缘和降低换向器硬度。

电枢开焊的主要现象是升高片发黑，绕组缩头和甩锡，造成原因是制造工艺不良或使用过负载由于电机发生环火而产生的大电流冲击，也能引起开焊，并极易造成升高片后部匝间短路，从而烧损无纬带和电枢导体。

牵引电动机电枢绕组与换向器升高片间的焊接，可用锡纤焊或熔焊。前者可分为烙铁焊、整体浸焊和波峰焊三种，而后者仅有氩弧点焊一种。

（1）烙铁焊　烙铁头部的形状要适应升高片的需要。此法设备简单，操作方便，热影响区较小。

（2）整体浸焊　设备如图 2-24 所示，适合于批量较大时用。当项 4 沉箱上下运动时，熔化的锡面（项 5）相应升降。座圈（项 3）须按换向器直径大小的不同而更换，使一台浸焊设备能适应多种电枢使用。项 2 石棉绳起密封作用，使熔锡不会从中间孔处漏出。项 6 电阻丝置于锡锅的下方。

为使焊接牢固和减小热应力，整体浸焊时应注意以下几点：

1）电枢先预热到 120 ℃左右再焊接。

2）电枢放置要垂直，使升高片浸入锡面高度大致相等。

3）锡温一般在 290 ~ 330 ℃之间，时间 2min 左右，焊透无虚焊即可。过热时将产生很大的内应力，易造成换向器的凸片和松动变形。

4）升高片浸锡面处先刷焊剂（松香和酒精4:6），焊接时在四周锡面上撒松香粉，以加快上锡并使焊接牢固。

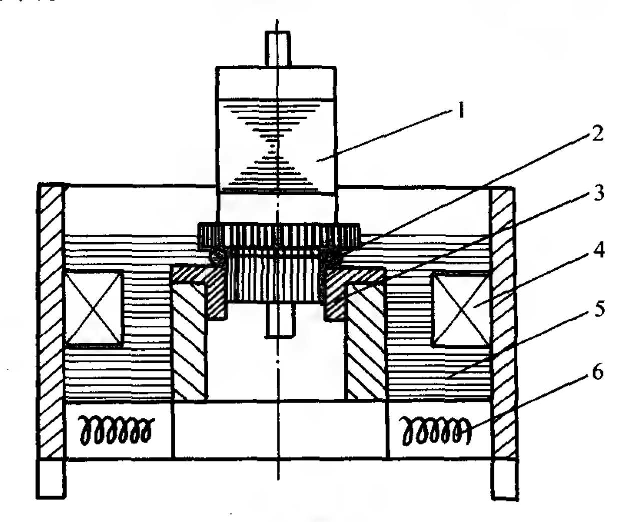


图 2-24　电枢整体浸焊示意图
1—电枢　2—石棉绳　3—座圈　4—沉箱
5—熔锡　6—电阻丝

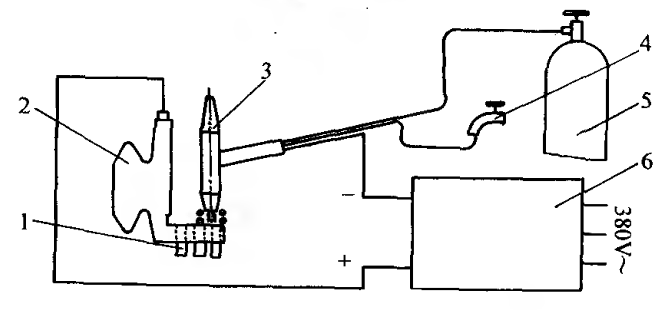


图 2-25　电枢氩弧点焊工作示意图
1—电枢导体　2—换向器　3—钨棒焊枪
4—水　5—氩气　6—电源

5）最下层的电枢铜导体不宜太深，对采用成型绕组的中、大型牵引电机，更应注意，否则由于锡难以渗透到下层而产生未焊牢情况。

6）对铆接式升高片的电枢，焊接前应有形状和尺寸均合适的木楔插入升高片之间，焊接后再去除，这样可使升高片焊接牢固，位置正确，不会碰片短路。

7）多次反复使用的焊锡中含铜量上升，将使流动性下降，焊接强度降低并不易焊牢，一般焊锡中的含铜量应经常控制在 3% 以下，常用焊锡牌号、性能和成分见表 2-31。

（3）波峰焊　它是利用焊机内的泵压出一股平稳

的液态焊料，以波峰的形式压至焊接位置来进行焊接，适用于中小直流电机的电枢焊接，与整体浸焊相比，具有焊接温度均匀、焊接速度快、换向器表面温度低、生产效率高和省电等优点。此外，还具有易于控制，质量稳定可靠，劳动条件好，易实现自动化等特点，是值得推广应用的一种电枢焊接方式。

（4）氩弧点焊　采用钨丝电极和惰性气体保护，用高频电引发电弧，使电枢导体与升高片熔成焊点，熔化深度为 2mm 左右，一连串焊点形成焊线，从而将线端焊牢，图 2-25 示出其工作示意图。本法的优点是焊点可靠，各片的接触电阻均匀，无焊接热应力，热影响区小，此处还可省去换向片嵌线槽和电枢导体端头的搪锡和清理工序。目前我国中大型的牵引电动机均已采用此法，对防止电枢开焊甩锡，提高焊接质量十分有效，氩弧点焊是目前最好的一种工艺，已成为国内、外牵引电机制造和修理中最佳的焊接方式。

本法的缺点是焊接时间较长，要采取必要的防护措施并尽可能实现自动或半自动焊接。焊接的设备较昂贵和复杂。

7. 转轴的损坏修复与换新

（1）转轴常用的材质及热处理　中小型牵引电动机的转轴常用 45 号钢制成，大、中型牵引电动机的转轴，为了提高其强度和使用寿命，采用 35 号铬钼等优质合金钢，为使材质有良好的综合机械性能，应先进行正火或调质处理，其性能应符合表 2-32。测试性能用试棒和试样应随炉和随料选取。

（2）转轴裂纹及折断的常见原因

表 2-31　常用焊锡的牌号和成分

焊锡牌号	元素含量(%)			适用于何种绝缘等级	抗拉强度 /MPa	熔点 /℃
	Sn	Pb	其它			
纯锡 Sn-3	99.565		0.435	F 或 H 级	26	232
锡铅合金 HISnPb58-2	39～40	余量	1.5～2	B 级或以下	38	183～235

表 2-32　转轴材质、热处理及机械性能要求

材质	热处理 \ 机械性能	抗拉极限 σ_b/MPa	屈服极限 σ_s/MPa	延伸率 δ(%)	冲击值 α_k	断面收缩率 ψ(%)	布氏硬度 HB
45 号钢	正火	6.5	3.2	15	3	40	≤217
	调质 850℃淬火 650℃高温回火	7.0	4.5	12	5	50	212～241
35CrMo 40Cr	正火	7.95	4.78	18.3	6	60.1	207
	调质 850℃淬火 520～550℃高温回火	9～10	7～8	10～15	5～6	50～55	241～261

1）中小型机床不正当的使用电制动，反接制动和牵引掉轨道的车辆时，承受了不可允许的过负载和过转矩。

2）转轴的材质选择不当或热处理不当，降低了应有的机械性能。

3）长期承受冲击负载后，使轴产生疲劳。

4）各轴肩处的过渡圆角加工不当，造成应力集中。

（3）牵引电动机换轴工艺　由于牵引电动机转轴需传递很大的转矩，工作条件又十分恶劣，采用镶套和接轴的方式修复转轴，对牵引电动机是不适用的。

牵引电动机转轴锥度轴伸及各档圆柱外圆面上轻微的损伤是常见的，常规的修复方法是金属喷镀和焊补，前者适用于圆柱面磨损且涂覆层较小的场合，而后者则适用于修复面积不特别大而深度较大的一些情况，但是不管是喷镀还是焊补，均需按一套已较为完整和成熟的工艺进行，才能确保焊修或涂层面的牢固，从而保证修复的质量和使用寿命。

修理国内外牵引电动机的实践表明，转轴报废换新的原因大多是锥度面、键槽、轴头螺纹及轴承档的严重损伤所致，往往是无法修复而只能换新。有一些牵引电动机生产厂家在使用说明书中规定了转轴各外圆档及长度档的磨损极限尺寸，但这种情况基本上用不到，换轴是简便而行之有效的方法。换轴的工艺过程及注意事项如下：

1）要用适用的压机、压制工装及辅助工装等。压机的压力要足够并有余量，由于轴上各零部件如轴套、轴承内圈、电枢压圈、电枢冲片（或内套筒）、换向器套筒等都与轴紧配合，所以旧轴压出时的压力都较大，中、小牵引电动机大多在 60～100t 之间，而铁道干线牵引电动机则要接近 200t。压机的台面平整度、行程的垂直度均需进行检查。压轴时应注意选择的承

压面要尽可能大，下方的压块垫要有足够的强度和刚度，以免受力时变形扭曲。压块垫、套筒等的孔径要与轴相应档位处的直径相配，注意了以上各项，使受压的轴不会弯曲。换轴过程中，电枢经常要翻身换位，简单的方法可以做一副抱箍，吊装的钢绳可以夹放在抱箍分界面的紧固螺栓内侧，对一般牵引电动机电枢的重量在500～800kg之间时，此分界面处的紧固螺栓不宜小于M16。

2）压出旧轴宜在热态下进行，应在150℃的烘箱内放置4h以上，使受热均匀。

3）旧电枢的转轴被压出后，剩下的部分由于有电枢绕组，使之仍能可靠地连接在一起，但应注意不可承受外力的撞击，以免各零部件移位甚至松脱，如有可能，应不从压机台面上吊下，而等待直接压入预先准备好的新轴为好。

4）旧电枢的转轴被压出后，应查看换向器套筒，电枢二侧压圈、轴套等各档的内孔中是否有拉毛情况，如已拉毛应将内孔修平修圆，以使新轴能顺利压入，而不至由于拉毛处太大的过盈量造成压力过大而新轴弯曲，甚至无法压入新轴。

牵引电动机的转轴加工工序较多，主要的工序如下：断料—打中心孔—车总长—粗车各档—调质—校对总长尺寸—精车非锥度端—精车锥度端各档（锥度面除外）—精车锥度—探伤—车端面及吊装螺孔—钻攻轴头螺孔—钻注油孔—半精磨各档外圆—粗铣键槽—精铣键槽—去毛—精磨外圆—精磨锥度—精磨轴承档—车轴头螺纹—去毛—涂防锈油—套锥度保护套—检验入库。

转轴加工中还应注意以下几点：

1）为防止轴变形，铣键槽必须放在半精磨各档之后，而精磨各档外圆放在最后。

2）原材料检验、热处理、探伤、力学性能测试等均须按相应规程进行。

3）轴承档及锥度磨削等，均要保证相应的尺寸精度、粗糙度及形位公差。

4）锥度面应用专用的环、塞规进行检查，最好应按机车厂提供的为佳，以保证锥度与齿轮内圆的接触面达80%～85%以上。

（4）无键轴伸损坏　与带键连接的轴伸相比，无键轴伸具有传递力矩大，拆卸方便和锥面不易损坏等优点，无键轴伸损坏原因及防止措施见表2-33。

用油枪拆卸齿轮的过程如下（如图2-26）

表2-33　无键轴伸损坏原因及防止措施

故障	原　因	防止措施
退不下齿轮	1）过盈量太大 2）油枪坏 3）轴伸油槽两旁配合面不成环，油枪加压时，压力油泄漏 4）轴伸油路堵塞	1）根据转矩计算过盈量，ZQ-78为0.12mm，ZQDR-410为0.15mm 2）更换或修理油枪 3）套上齿轮前应加强锥度接触面的检查和修复 4）弄通油路
齿轮和轴伸间打滑	1）热装过盈量太小 2）轴伸和齿轮内孔的锥度不配合 3）锥度配合接触面太小，应不小于80%	1）正确掌握过盈量 2）用配套的环规和塞规分别检验轴伸和齿轮内孔的锥度 3）用红印油检验配合面积，过小时要重新磨削锥度面

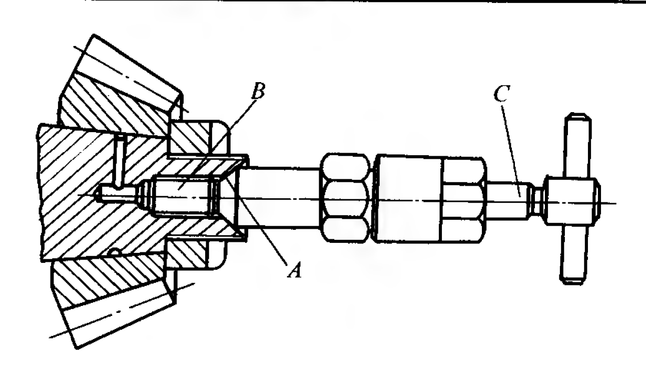


图2-26　油枪拆卸齿轮示意图

1）旋进螺杆C使其头部贴住内空腔的顶部，以排出内空腔中的空气。

2）把B端浸入油箱中（常用40#机械油），然后把螺杆反向旋出，使油从B端吸入内部空腔中。

3）在轴伸处，将压紧螺母旋松几牙，但切不可将螺母旋下，以防在脱齿时齿轮猝然弹出打伤人。

4）把油枪B端旋入轴伸端的中心螺孔中，斜面A处必须贴合紧密，以防脱齿时压力油泄漏。

5）用圆铁棒插入油泵末端的圆孔中，扳动铁棒，使螺杆C逐渐拧入，使空腔中的油进入轴伸的油孔以及油槽中，当继续转动螺杆，使油压增加到一定值时，借助配合面的锥度方向分力，齿轮即自然脱下。

6）旋出油泵，拧下螺母，即可取下齿轮。

电机修理完毕后，必须用热装法重新装配小齿轮

（可用油加热或感应加热以扩张内孔），步骤如下：

① 将齿轮内孔和轴伸表面用汽油擦干净，锥度配合面应光滑无损伤，红丹油研磨检查接触面积不小于 80%，且在油槽周围应接触完好。

② 冷态下将小齿轮顶套人轴伸，借助自重轻轻放下，但必须保证配合面已密合。

③ 量出齿轮下端平面与电机轴承盖相应平面处的距离 L_1（见图 2-27）然后配制三个等高的垫块，其高度 $h = L_1 - 10\Delta$，其中 Δ 为锥度配合面套装的过盈量，一般取 0.12 ~ 0.15mm，中型牵引电机常取 0.12，则 $h = L_1 - 1.2$。Δ 前的系数随锥度而变，对 1:10 的锥度时取为 10。

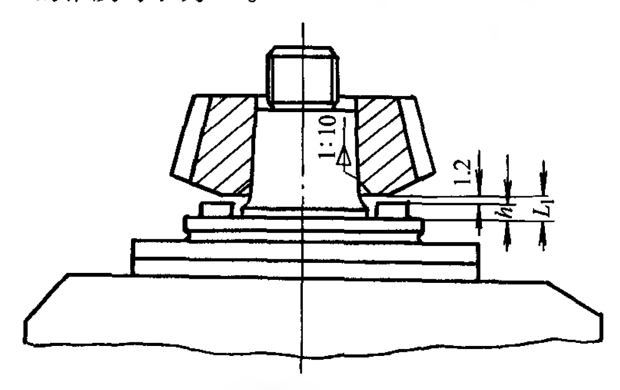


图 2-27 无键联接时套装齿轮图

④ 取下小齿轮，加热到 $(206 + t_0)$℃ 的温度，其中 t_0 为轴的温度，一般即室温。到达温度后保温 10min，然后取出小齿轮，迅速用绸绢揩净内孔并套在轴上，小齿轮下平面紧压在等高垫块上，立即旋紧轴头的防松螺母，待其自然冷却到室温后即可取下等高垫块。

以上套装过程适用于电机轴头向上时进行，也可采取卧装，但应注意保证套装的过盈量，防止套装时退出，操作比立装要困难些。

8. 电枢及绕组的修复

（1）电枢绕组的拆除和清理

1）拆除电枢绕组时应做详细记录，如绕组型式、导线规格、并列导体数（即每槽换向片数），并绕根数、电枢绕组元件匝数、槽数、换向片数、槽节距、换向器节距、绝缘等级及线圈本身绝缘情况（包括匝间、层间、鼻部加强、对地、外包等）、槽衬绝缘、前、后端的支架绝缘、端部匝间绝缘及其余的加强绝缘等。另外，最好保留一只形状准确的旧线圈，以便在修复线圈和包扎绝缘时作对照。

2）拆除电枢绕组要在热态下进行（70 ~ 80℃），此时线圈柔软性好，利于拆出线圈并减少损伤。电枢导体与升高片之间因有锡焊牢，拆除线圈时切不可硬挑，以防导体或升高片断裂，可先用一根扁平凿，其宽度略小于升高片槽宽，伸入换向片槽中，用榔头向下冲击，使原焊牢的导线松动一下，然后可从端部把导线向上挑出。也可用特制的电烙铁或热风枪加热使锡熔化，但应防止局部过热，以免损伤换向器的对地和片间绝缘。用氩弧点焊焊接的电枢，必须先车削去换向器侧平面上的焊点。拆除时，应尽量保护旧绕组，不使变形太大，修复后的线圈最好要经过整型或复型，使所有线圈形状统一，这样可方便嵌线，同时也不易产生匝间短路。

3）拆除线圈后，将铁心槽内残留绝缘片屑清除干净，擦去灰尘油污，歪斜、弯曲不平的冲片和端板要整形，以恢复冲片槽形的平齐。槽口安放槽楔的楔形槽部更要求平齐，否则不但打入槽楔困难，而且影响其强度。烧损严重的电枢冲片，可在换轴时用备用冲片更换，也可将烧损的冲片分散搭放在完好冲片之间。如更换困难时，可按其他章节介绍的工艺修复。

4）旧的换向器升高片要整平复直，清除槽内残锡，如工作面磨损不多，经 220V、2s 的片间耐压及对地耐压，试验后，即可继续使用。

5）检查转轴各配合档的尺寸及有关部位的同心度，如电枢铁心外圆，各轴承档、换向器工作面等对两端中心孔，除电枢铁心外圆处外，均不得大于 0.03 ~0.04mm，否则应修正中心孔或重新磨削有关表面。

（2）电枢线圈的修复　扁铜导体绕制成的旧线圈经整修和检查，一般可复用烧损的旧绝缘可用电工刀局部清除，经匝间检查修复后即可重包对地主绝缘和外层防护绝缘。

电枢线圈的绝缘结构、品种和层数，最好按照原来的实物，也可按表 2-34 选取。

包扎绝缘时应严格控制线圈的宽度和高度，使嵌线时在槽中不过松或过紧，以免影响导热和绝缘可靠性。导线本身的匝间绝缘大多为单或双玻璃丝包和聚酯或聚酯亚胺漆包，为提高匝间可靠性，对电压较高的电机需在电枢导体的直线部分匝间用上胶坯布衬垫并烘压成型（称胶化工艺）。在线圈的两个端部及鼻部则要垫入条状或人字形的衬垫。修复后的线圈须经匝间和对地耐压试验。

对被短路或对地击穿烧损的导体，可用银铜焊加接上一段相同线规的导线，如操作位置可能，也可以用碰焊，但最好加银焊条以确保焊牢，焊接处锉平去毛并包扎绝缘后即可嵌入原来的位置，再刷绝缘漆。

修理中重嵌导线头后的升高片处应重新焊牢，为确保不虚焊，应去除线头及槽中的油污和氧化层。如能用氩弧点焊，则修复效果更好，但对搪过锡的线头较难掌握。

表 2-34 电枢线圈对地绝缘和外包绝缘层数

额定电压 U_n/V	耐压/V	对地绝缘	外包绝缘
≤150	$2U_n+1000$（最小 1500）	0.14 云母带半叠包 1 次或 0.05 聚酰亚胺薄膜卷包 $2\frac{1}{2}$	0.1 玻璃丝带半叠包或平包一次
>150～600		半叠包 2 次或 $2\frac{1}{2}$ 卷包，材料同上	
750	$2.25U_n+2000$	半叠包 3 次或 $3\frac{1}{2}$ 卷包，材料同上	
1500		半叠包 4 次或 $4\frac{1}{2}$ 卷包，材料同上	

注：1. 表列的绝缘层数和厚度为最低的要求，修理时可根据绝缘位置适当增加。

2. 表中卷包层数中 $\frac{1}{2}$ 系指绝缘在线圈断面周长上重迭一半，且搭口应在线圈的宽边上。

（3）电枢的重嵌

1）嵌线数据　牵引电机电枢绕组常用单叠和单波两种。前者并联支路数较多，适用于功率和电流较大的场合。四极中小型牵引电动机，大多采用单波绕组，因不需均压连接。二极小型辅助牵引电机大多做成单叠绕组。

电枢主要嵌线数据有槽数、换向片数、槽节距和换向器节距等，常用直流牵引和辅助牵引电动机嵌线数据见附表表 2-1 和 2-2。

2）铁心槽中心与相应片中心的定位　电枢绕组嵌线时，必须弄清铁心槽中心与铜片或云母片中心之间的定位关系，对中的偏差应尽量小，因为这偏差相当于电刷偏离了几何中心线，偏差过大会加剧磁场的畸变及各支路电势的不均匀度，使电机的转速及两个旋转方向的转差发生变化，同时引起换向火花的增大。铁心槽中心与铜片中心定位的判别原则：①槽节距 y_z（以槽数计）和换向器节距 y_k（以片数计）同是奇数或偶数，则铁心槽中心线应对准换向片中心线；如两者中一个是奇数、一个是偶数时，铁心槽中心应对准云母片中心。②若第二节距 y_{2k}（以片数计）等于偶数，则铁心槽中心应对准铜片中心；若 y_{2k} 等于奇数，则应对准云母片中心。这是因为，若 y_{2k} 是偶数，$\frac{y_{2k}}{2}$ = 正整数，即铁心槽中心与相应嵌入片之间相隔整数个换向片，由于电枢导体线头嵌入的片必定是铜片中心，所以铁心槽中心必然要对准换向片中心。当 y_{2k} 是奇数，则 $\frac{y_{2k}}{2}$ = 正整数 +0.5，这只有使铁心槽中心对准云母片中心才能实现。

对于刷架可以转动的电机，即使铁心槽中心与换向片（或云母片）中心间的定位偏差略大，亦可以借助转动刷架来补偿中心定位的偏移，因此可放大定位的误差。

（4）电枢的应急修理　中小型直流牵引电动机大多采用四极和单波型的电枢绕组。根据它的构成条件，其换向器节距

$$y_k = \frac{K \pm 1}{p} = \text{整数}$$

由于 $p=2$，所以换向片数 K 一定要为奇数。对此，要求槽数 Z 和每槽换向片数 u_z 均为奇数，以构成正常条件的单波绕组。该型电枢绕组烧损后，如一时无备用品线圈更换而又急需修复投产时，则可应用有伪元件和人为闭合的方法进行应急修理。现以 ZQ-24 牵引电动机的电枢为例，嵌线及其他有关数据见前，电枢接线展开图如图 2-13 正常连接次序是：

片 3—1（5）—10′（5）—片 95′—片 95—20（2）—29′（2）—片 2′—片 2—1（4）—10′（4）—片 94′—片 94—20（1）—29′（1）—片 1′—片 1—1（3）—10′（3）—片 93′—片 93—19（5）—28′（5）—片 185′—片 185……。

若经检查，发现绕组元件 1（4）—10′（4）接地，现采用人为跳接线的方法，将此损坏元件变成死元件，即该损坏元件仍嵌放于电枢槽内，以维持电枢重量的平衡，但其端头不与换向片连接，为此将片 2—1（4）—10′（4）—片 94′这一绕组元件的二个端头剪断并妥善包扎，同时将元件边 20（1）焊接加长，跳接约半个圆周，嵌入片 2 的上层（正常连接时该元件边应嵌入片 94 的上层），则换向片 94 不再嵌放绕组，见图 2-28。

跳接线应可靠绝缘并和前端接部分一起用无纬带绑扎好，这样就完成了改接工作。对绕组元件断路、短路烧损、一片换向片损坏、缺片等均可用此法修复。应注意，按此法修复匝间短路的电枢时，如系多匝电枢元件，则应在端鼻处将导线剪断，以消除闭路元件的感应电势而在短路匝之间存在的电位差。此外，按此法应急改接的电枢，使用时的火花略大于正常电机，这是由于支路电势不对称而产生附加环流的原因，故而此法只能用于应急的修理。

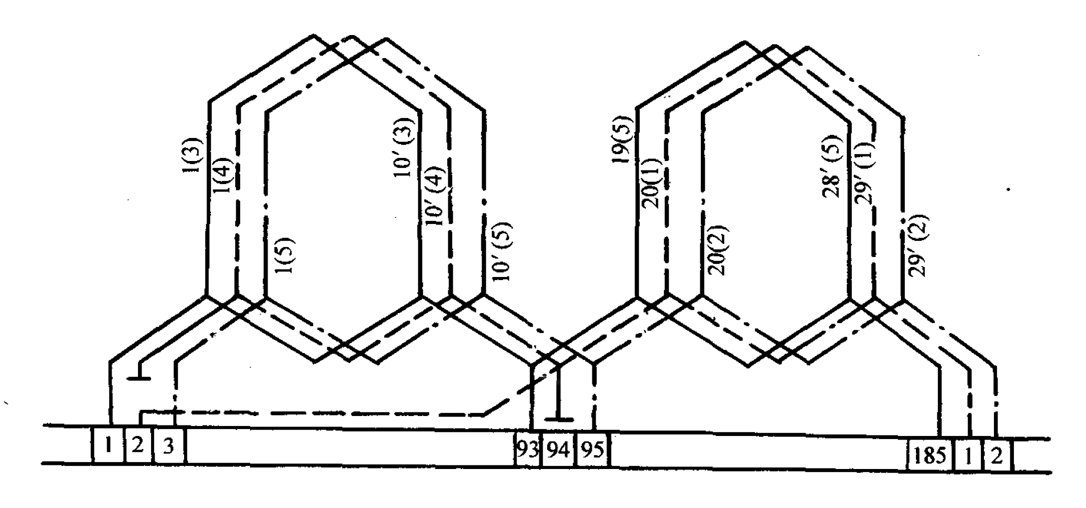


图 2-28 应用跳接线法修复电枢绕组

第五节 换向器故障及修理

一、牵引电动机换向器的主要技术要求

1）工作表面应为稳定的圆柱形，在热态下工作表面的圆跳动不应大于 0.03mm，任意相邻两换向片间的圆跳动不大于 0.005mm。

2）换向器动压成型和超速前后，分别测量换向器工作面直径，同一处的变形量应小于 0.03mm。

3）换向片分布均匀，在每相隔约一个极距的换向片组上测量，弦长之差不得超过 0.8～1.2mm（直径大者取大值）。

表 2-35 换向片与轴线不平行度允差

换向器工作面长/mm	≤50	>50～100	>100～200	>200～400
允许偏斜/mm	0.6	0.8	1.0	1.2

4）换向片与轴线要平行，允差见表 2-35。

5）要求下列各部位密封良好。

① 换向器 3°面入口处。

② 换向器紧固螺母或螺栓处。

③ 换向器套圈与电枢前压圈的配合处。

6）两端 V 形环外露 3°圆锥体表面具有高的耐电弧能力。

7）换向器工作表面的粗糙度要细于 R_a0.8。

8）换向器的对地耐压和片间耐压应符合标准要求。

对于修理的电动机，在保证正常运行的前提下，允许将其中部分要求适当降低。

二、牵引电动机换向器的常见故障及消除（见表 2-36）

表 2-36 换向器常见故障原因及消除方法

故障	原因	消除方法
片间短路	1）燕尾槽或其他表面有铜毛刺 2）换向器叠装时落入金属屑 3）换向器 3°面密封不好，金属屑落入 4）换向器焊头或运行时的锡块和锡皮掉入升高片后的 3°面缝隙中 5）片间云母或偏片损坏或折断 6）片间云母槽内炭粉和污物积聚	1）严格车削和清理工艺 2）加强装配时的清洁 3）应把 3°面填密封 4）换向片槽内残锡应清理干净，焊头时锡面不要过高，无流焊 5）更换片间云母或铜片，详见下文修复工艺 6）云母槽不可过深并应及时清理或加树脂类填充物
接地	1）V 形环击穿，V 形环材质不好 2）换向器内部进入金属异物 3）换向器受潮浸水 4）两侧 3°锥体表面有污物粉尘引起对地爬电击穿	1）适当减小换向器压装吨位，两端 30°锥面要同心和一致 2）解体后清除异物，再按工艺恢复 3）修复方法见电枢的故障检查及修理内容 4）加强该面的清洁和维护或粘贴聚四氟乙烯保护层
松动变形和凸片	1）压装吨位偏小，片间压力不够 2）压装工艺不完善	1）可比计算压力增大 20% 进行压装 2）严格换向器压装，动压成型和超速工艺

（续）

故障	原　因	消除方法
松动变形和凸片	3）片间云母和V形环塑型云母继续变形，尺寸稳定性差 4）电枢导体与升高片焊接时热变形大 5）长期运行后受温度湿度和机械应力的影响，云母不断收缩变形使片间压力降低	3）增加压装，动压成型和超速次数，改用性能和尺寸较稳定的云母材料 4）改进焊头方法，严格焊接工艺，严格控制温度和时间 5）加温加压后拧紧换向器的紧固螺母或螺栓，重新精加工换向器工作表面
升高片断裂	1）升高片槽太宽太深，根部单侧厚度太小 2）升高片铣槽歪斜，根部单面厚度太小 3）升高片车削时进刀太猛，引起升高片歪斜 4）机械碰伤	1）槽根部单侧厚不得小于0.7mm左右，视工艺条件而定 2）改进铣槽工艺 3）切削参数应适当，刀具应锋利 4）升高片处外圆在加工前就应比电枢直径小，并注意文明搬运和堆放

三、换向器的主要修复工艺

1. 更换损坏的换向片和云母片

换向片和云母片外表损伤，修复较容易，如故障点在内部，则必须将换向器解体后方可修复或更换，简要工艺过程如下：

1）从电枢上压出或拉出换向器，用钢丝箍或带伸缩性的橡胶带将换向器工作面箍紧。

2）在加压下逐只拧松拉紧螺杆，或用图2-29所示的拧紧螺母工具反方向退下螺母。上压板承受的压力通过均布的三根连接圆杆传动下压板和换向器压圈上，压头的爪卡入换向器螺母的槽中，加压后，用圆棒伸入项4圆孔中，以顺时针方向扳动，直至拧紧换向器螺母为止。弹簧用以压紧带爪的压头，不使扳紧时跳起。

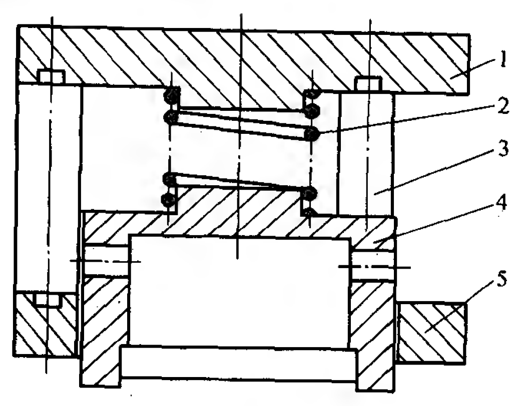


图2-29　换向器拧紧螺母工具

1—上压板　2—弹簧　3—联接圆杆

4—带爪压头　5—下压板

3）分离换向器压圈和换向器套筒。最好在换向器压圈外侧面上钻三个均布螺孔，然后用工具拉出，也可用锤子等敲击脱出。

4）将外圆箍紧的换向片组平放于木板上，用三个等高块垫在下面，将需更换的部位置于二个等高垫块之间，逐步打出需更换的换向片，同时插入更换的新片，此片可用其它废旧换向器中的成型铜片，也可用烧坏的铜片经气焊焊补后修锉到所需尺寸。应注意新更换入的铜片或云母片的内边必须锉修平整，不可凸出，否则换向器重新组装时将压伤云母环。

修复后的换向片组应进行严格的检查，剔除铜片外周的铜刺并做好清洁工作，确保V形槽内无铁屑、铜末等异物。

5）按装配工艺守则组装换向器，同时再次检查有无片间短路，接地等故障，复核套筒的键槽中心是否对准铜片或云母片中心。

6）按规定的压力用换向器螺母拧紧工具旋紧螺母，然后即可烘焙和热压、冷压，同时再旋紧螺母。这一过程最好要重复二次以上，以确保足够的片间压力，防止松动变形。

换向器的烘焙时间、温度和压力见表2-37。

换向片片装和换向器装配时的烘压压力 P_1 和 P_2 分别是指施加于叠压工具压模和换向器压圈平面上的轴向力（见图2-30和图2-31），其值由下式计算：

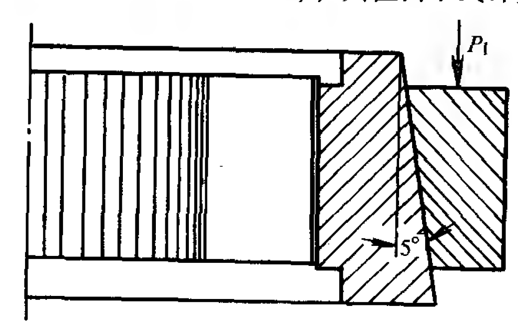


图2-30　换向器片装加压示意图

$$P_1 = 11.1 \times 2\pi F_1 p_1 \mathrm{tg}(\alpha + p)\ (\mathrm{N}) \quad (2\text{-}20)$$

式中　F_1——换向片的侧面积（铣槽部分不计入），cm^2；

p_1——片装时的单位片间压力。牵引电机常用40～60，MPa；

α——叠压工具的锥度角，一般用5°；

p——叠压工具的摩擦角，常用15°。

表 2-37 换向器的烘焙时间、温度和压力

工序	烘焙温度/C		烘焙时间/h					
	绝缘等级		换向器直径/mm					
	B	H	≤100	>100 ~200	>200 ~300	>300 ~400	>400 ~500	>500 ~600
动力成型保温或超速前预热	140±5	160±5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
片装	160±5	180±5	1	2	3	4	5	6
器装	160±5	180±5	1	2	3	4	5	6

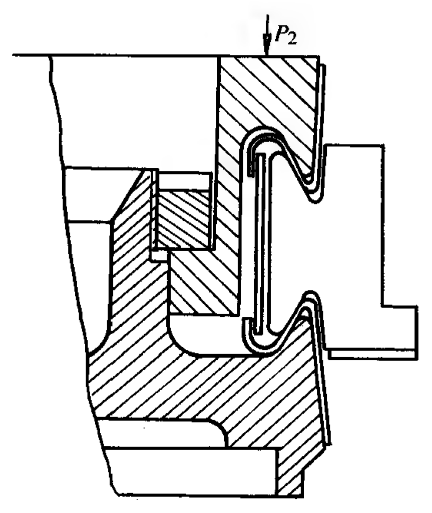


图 2-31 换向器装配加压示意图

$$P_2 = 25F_2p_2 \text{ (N)} \quad (2\text{-}21)$$

式中 F_2——换向片组加工 V 形槽后的侧面积（铣槽部分不计），cm^2；

p_2——器装时的单位片间压力。牵引电机常用 20～40，MPa。

对于片数较多，云母片较厚的换向器，p_1 和 p_2 取上限值，故可取 $p_1=60$，$p_2=40$，代入 P_1 和 P_2 可简化为下式：

$$P_1 = 1.53F_1(\text{t}) \quad (2\text{-}22)$$

$$P_2 = F_2(\text{t}) \quad (2\text{-}23)$$

其中 F_1 和 F_2 可根据铜片侧面积尺寸分块计算出，也可在 1:1 的实际图形中近似地量出，如图 2-32 所示。

7）最后检查换向器的片间及对地耐压，确无故障时即可压入电枢铁心并嵌线。

2. 换向器凸片的修理

换向器产生凸片原因是片间云母板和塑型云母板在运行过程中，受冷热环境及机械应力的多次反复作用而继续排胶收缩，导致换向器松动变形。修理时，如简单地将凸片的换向器表面车削，则一经运行，很可能再次发生凸片。为此应先烘焙电枢（温度和时间同换向器装配），然后热压和冷压各一次，可比换向器装配时的计算压力提高 10%～20%，同时扳紧换向器螺母（或螺栓），最后才允许加工换向器表面。此时应注意换向器工作面与电枢两端轴承档的同心，特别在修理时，应首先检查两端中心孔有无损坏，以中心孔定位时两端轴承档的偏摆情况，如无问题，才允许用两端中心孔定位来车削换向器。

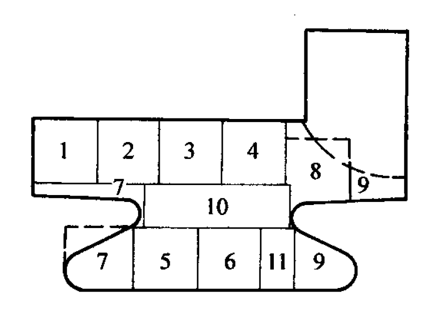


图 2-32 根据换向片净侧面积求器装压力

3. V 形环的压制要点

V 形环是换向器中的主要部件。B 级绝缘的牵引电机，大多用 5231 虫胶塑型云母板压制而成，其特点是耐电弧的能力强，绝缘性能可靠，因此适用于较高电压的电机，其缺点是在运行过程中易挤胶滑片而导致换向器变形，所以机械稳定性稍差。用环氧酚醛玻璃坯布热压而成的 V 形环，具有成本低工艺简单，机械稳定性好，耐溶剂性强等优点，但耐电弧能力差，仅适用于 250V 以下较低电压等级的牵引电机。

（1）V 形环的主要质量要求

1）30°面上紧密均匀，圆弧处光滑，无裂纹和分层现象，扇形料搭接处应均匀，无间隙和多余重叠。

2）厚度均匀并符合图纸要求，在灯光下照射，各处透亮均匀。

3）外表清理后用金属杆支持，以手指弹击时，响声清脆坚实，无脱壳分层。

（2）V 形环压模　见图 2-33，由上模 1、压圈 2、下模 3 和模心 4 四个零件组成，在上下模合模以后拧

紧压圈上的螺钉，即能自行保持压力。脱模时，先拧松压圈螺钉，拆下压圈2，然后可在上模的下平面垫上套筒，使下模的下平面脱空，并用木锤轻击下模的上平面，即可将下模脱下，再轻击模心的两侧面，则可很方便地脱下模心。然后继续垫高下模的下底面，用脱模圈5即可将压制成型的云母环脱离上模，完成了全部脱模工序。

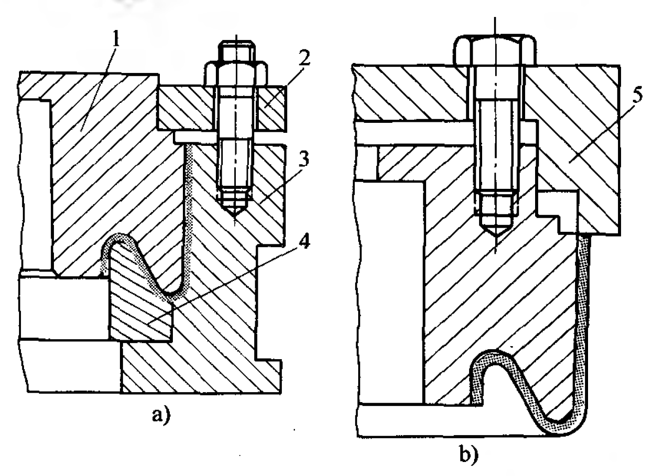


图 2-33　V 形环压模

a）V 形环压模结构图　b）V 形环脱模结构图

1—上模　2—压圈　3—下模　4—模心　5—脱模圈

（3）V 形环压制工艺要点

1）扇形云母板尺寸确定　在换向器修理时，确定扇形片尺寸最简便的方法是将损坏的 V 形环加温或稀释，使之软化后铺平，照原样划制，这种办法最有把握。也可用经验计算法，其中，扇形片的总宽度 H 等于 V 形环的展开长，即 $H=a+b+c$，扇形片的内弧处必须有切口，以使弯曲时内弧处不致材料重迭，切口处由 b 和 c 两部分组成，切口总高 $h=b+c$，切口宽度 $d=\frac{\pi\ (D_1-D_2)}{n}$，其中 n 为整圆的切口数，由表 2-38 中选定。

图 2-34、2-35 示出 V 形环和扇形片的形状尺寸。

随 V 形环直径的增大，每一圆周所用的扇形片数也不同，300mm 以下时采用二片，V 形环外圆达 400mm 以上时，采用四片。应注意将每一层之间的接缝处错开，以增大漏电距离，如图 2-35 所示。

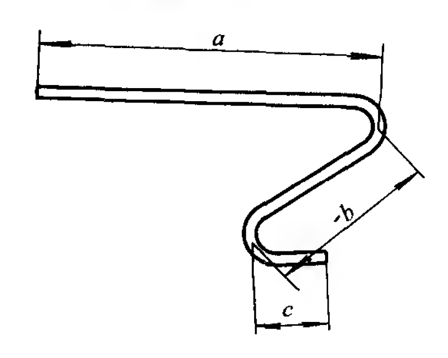


图 2-34　V 形环形状和尺寸

2）脱模剂　不管是用 5231 塑型云母板还是环氧酚醛上胶坯布制造 V 形环，其脱模剂都可用经用苯稀释的硅橡胶，配方为：

硅橡胶：甲苯 = 20：100（重量比）

3）将扇形片剪好后，应在塑型云母板表面涂刷一层虫胶漆，并自然晾干，虫胶漆的调制为 1kg 酒精中溶解 300g 虫胶。

4）可用一张薄纸剪成扇形片的形状和尺寸，然后在云母环压模的下模中试弯，将切口的齿部向 V 形槽内弯折，纸样应不重叠和不漏缝为好，否则应将齿部切口尺寸进行修正。

5）通过计算和试压决定层数 m：设 t 为 V 形环要求的厚度，t_c 为云母板或上胶坯布每层厚度，则

$$m=\frac{Kt}{t_c} \qquad (2\text{-}24)$$

式中　K 为压缩率修正系数，对 5231 云母板，取 $K=1.2$；对环氧酚醛上胶坯布，$K=1.4\sim1.6$，实际压制时，坯布厚度一般为 0.16～0.17mm，则当 V 形环厚度为 1.5 和 2mm 时，分别用 14 和 18 层。

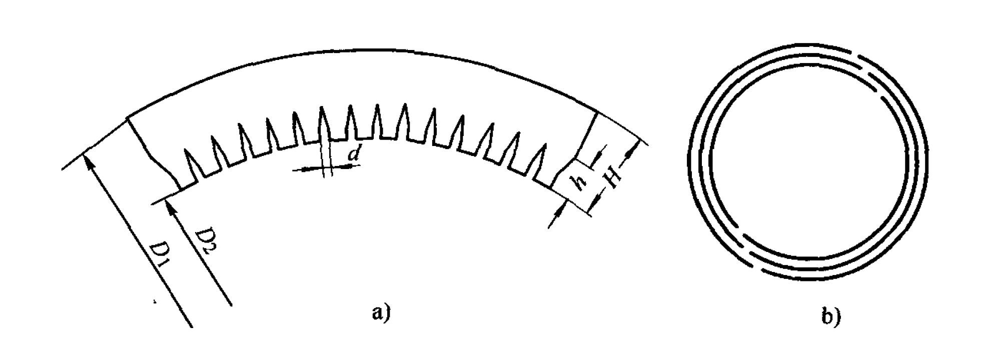


图 2-35　扇形片的形状和尺寸及各层扇形片接缝错开示意图

表 2-38　扇形片切口数与 V 形环直径的关系

V 形环直径/mm	≤60	>60~90	>90~130	>130~170	>170~220	>220~280	>280~400	>400
n	8	10	16	20	26	32	40	48

6）环氧酚醛玻璃上胶坯布的存放期较短，还必须低温保管，否则较易发生固化脆裂而失去粘性，因此也可用 0.1mm 厚的无碱玻璃布待使用时再自行上胶。其大致过程是将玻璃布剪成条料后放入 240℃ 的烘炉中 45min，以先行脱脂处理，然后以 634 环氧树脂 70%，3201 酚醛清漆 30% 的比例，再用甲苯和酒精 1:1 的比例进行稀释至固体含量 50% 左右为宜，即为配制的胶，然后将脱脂过的玻璃布浸入胶液中 3~5min，以浸透为好。然后取出拉直晾干后放入 80℃ 的烘房中烘 1h，达到不粘手并能划线剪料方便的半干状态。时间不可过长，以防坯布完全固化。

（4）V 形云母环压制工艺过程

1）将每组扇形片（层数为 m）的每层接口错开 2~3mm，按齿尖朝下的方向弯成圆筒形（插入下模的内圆），注意每组每层的接口处应尽量密合，然后用白布带扎紧成“环胚”。

2）将“环胚”转套到 120℃ 热态的上模外圆，待“环胚”受热软化后，即将切口齿部向上模的 V 形槽内弯折，同时用模压住，待冷却后取出即成“初胚”，此时已初步预弯成型。

3）热压模的压制表面上刷脱模剂并放一张玻璃纸（模温 150℃ ±5℃），放好“初胚”后，以 5t 左右的压力进行初压。

4）将已放置“初胚”的压模放入 200℃ 烘炉中加热 90min，使下模达到 170~200℃，取出压模进行加压，其压力

$$Q = (D_1^2 - D_2^2)\frac{\pi}{4}p \tag{2-25}$$

式中　p——单位压力，取 25~30MPa。

5）拧紧压圈螺栓进行保压，然后在风冷或常态下冷却至 50℃ 以下即可进行脱模。

6）割边清理并经试验合格后即可使用。割边工序亦可在热态的压模下进行较方便。

用环氧上胶布制作时，工艺操作基本相同，但热模温度可降低为 80~100℃，第一次加压初步合模后的进烘温度为 160℃ 即可，时间 30min，单位压力 p 降为 10~15MPa。

4. 换向器 3°面处的密封

拱式换向器的 3°面处总有一圈缝隙，为防止碳粉、潮气、金属屑及其他脏物由此进入换向器内部，造成片间短路和对地击穿，特别是牵引电动机，由于环境条件的恶劣，所以此缝隙处必须进行密封。换向器的紧固螺母或螺栓处，由于缝隙较小，密封后要再扳动就不方便，因此该处一般不进行密封，只是在矿井下使用的工矿牵引电动机，由于湿度太大，电机内部易进水，有时也进行密封。

3°面处的填封方法有环氧涂封，绝缘漆刷封及聚四氟乙烯薄膜带粘封等几种，见表 2-39。

表 2-39　换向器 3°面密封的方法和工艺

项目 密封方法	简要工艺	注意事项	优缺点
环氧树脂涂封	1）环氧胶的配制：按环氧树脂 100%、苯二甲酸二丁酯 10%~15% 之重量比例进行混合并搅拌均匀。也可用环氧树脂与 650 固化剂以 1:1 的重重比混合，加微温搅拌均匀，如加入乙二胺可加快固化 2）将换向器 3°密封处擦干净，用毛笔将环氧胶均匀涂封，应注意不应有漏涂、气泡和裂缝等缺陷，涂后自然干燥固化 3）玻璃丝带或玻璃丝绳应均匀扎包整个 V 形环的 3°面的外露部分。玻璃丝带应扎紧，均匀光滑无皱折和空洞，边孔边刷环氧胶	乙二胺量不可加多并最好用化学纯试剂，否则易生成铜绿而发生片间短路和接地	密封较可靠但工艺麻烦，耐电弧性差，易脆裂
绝缘漆刷封	1）用玻璃丝带或玻璃丝绳绑扎于 V 形环伸出部分的表面，边刷灰色耐电弧瓷漆 2）用玻璃丝带或绝塞紧入口处，再刷灰色耐弧瓷漆二次，使可靠地堵住入口缝隙	换向片组二侧近 3°面处均要侧角，以便于塞紧	工艺简便，但表面粗糙易积灰。涂封处因冷热收缩可能产生裂缝

（续）

密封方法 \ 项目	简要工艺	注意事项	优缺点
聚四氟乙烯带粘封	1）化学处理液的配制：将768g精萘放入3000ml的三口烧瓶中，然后加入1500ml的四氢呋喃，搅拌溶器。待精萘全部溶解后，加入金属钠，每次加切成小粒的钠35g，共加138g。控制反应的温度低于40℃，反应完成后，用60～80目的铜丝网过滤 2）聚四氟乙烯材料的表面处理，将萘钠处理液倒入处理槽内，然后把一面已用砂布打磨毛的聚四氟乙烯材料浸在处理液中约3min，取出后用开水清洗干净，晾干后即可使用，其打磨过的表面呈深棕色 3）利用聚四氟乙烯带有一定延伸率的性能，先把四氟带预制成L型，在换向器前端面车一圆环，其尺寸应正好把预制成的L形四氟带嵌入（图2-36），用环氧树脂和650聚酰胺为胶粘剂粘牢	四氟带的接缝应严密，为此应按正式拉力先试贴，端头重迭形成圆圈后，重迭部分剪开，把两端多余的带去掉，然后再进行粘胶。这种方法周长易控制，接缝处可密切贴合	表面光滑不易积灰，耐弧性很好，擦拭方便。L形覆盖后，换向器前端面根部处的缝隙也被遮住，密封彻底而可靠，但工艺较复杂

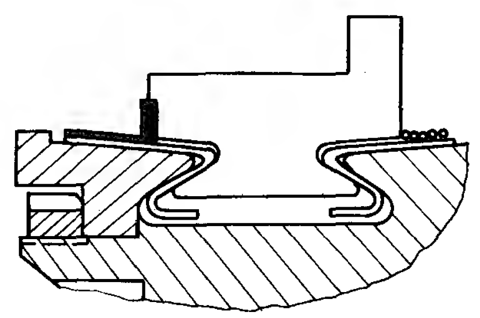


图2-36　换向器前端面用L型四氟带包封示意图

5. V形云母环烧损后的修复

V形云母环的3°和30°面上有时会发生烧损，当烧损面积不大时，常采用修补方法进行修复使用，首先将烧损处的黑灰彻底清除干净，然后用填补材料填入，少量的可用环氧树脂或云母粉（用虫胶调成糊状），面积较大时用塑型云母板熨烫，同时加温加压。总之填补材料应设法与修复处形成一体，二面也可粘贴天然片云母或聚酰亚胺粘带，但不可高出二面的平面。

四、改善换向的方法

1. 换向器工作表面车削螺纹槽

试验表明，在换向器车削螺纹槽后可降低换向火花0.5～1级，特别对较大功率的高速牵引电机更为明显，此外，还可降低换向器表面温升5℃以上，车削螺纹槽后有利于碳粉的排除，从而提高换向的可靠性。车削螺纹槽的工艺要点：

1）螺距为6～10mm，尽量使每块电刷长度内接触4～5个螺纹槽为好。国外的一些铁道牵引电动机常采用每对3个螺纹槽。

2）槽宽取为1.2～2mm，以槽宽与螺距之比为0.2左右较好。

3）槽深1.2～1.5mm。

4）转速及切屑量。电枢转速15～25r/min，切削量起始为0.1～0.15mm，最后精车0.05mm，刀头两侧带圆角（使槽底两侧带R）。

5）下刻片间云母槽和槽口倒角　下刻深度要略大于螺纹槽深，倒角同正常工艺要求一样。

6）精车换向器表面，最好能细于$R_a0.8$，然后清理下刻槽及螺纹槽中的毛刺。

2. 中、小牵引电动机应尽量采用全额电刷

以往功率在50～60kW以下的主牵引电动机，几乎毫无例外地采用四极和二个刷握，视察窗盖位于电机的上方，以方便维护检修和更换电刷。刷握数少于磁极数，常称之“非全额电刷”。从理论分析和多年的实践均可证明，在采用非全额电刷后，被短路的换向元件为二只串联，从而增大了换向元件的匝数和电感，未补偿的电抗电势也增大了，从而使换向火花增大，换向器表面容易发黑，耐受过电压和电阻制动的能力差。特别是功率在30kW以上，电抗电势大于1～1.5V的中、小牵引电动机，影响较为明显。在电动机修理时，应尽量增加一对刷握而变成“全额电刷”。但此时应注意以下几个问题：首先固定好刷架，应注意等分，固定要牢固可靠；其次同极性刷架间应用电缆连接起来；为了更换电刷和维护的方便，机座下方应开设视察窗并加盖，如有可能增加旋转刷架圈，则下部电刷可转到上方窗口更换。在有地沟的矿山现场，从下方视察窗维护和更换电刷，就更显得方便。

3. 换向器表面粗糙度

待修的牵引电动机换向器的表面状态一般都较差。如磨后的凹痕，烧黑的斑迹，油污炭灰等，在重新烘压和加工换向器时，常用下列方法：

1）车削法　应在精度高和振动小的车床上进行，如某厂采用高精度的液压尾座，顶尖的跳动仅为0.005mm以下，换向器表面粗糙度细于R_a0.8，如配合使用金刚石车刀，则粗糙度可细于R_a0.4。常用硬质合金YA6、YG8等刀具进行粗车，切削线速度应小于每分钟150m，然后再更换精车刀，线速度为每分钟250m左右，切削量应小于0.1mm。采用金刚石刀精车时，由于其硬度高、导热快、摩擦系数小，粗糙度细于R_a0.4。用金刚石刀切削时的铜屑呈针状，换向器外圆无粘铜屑现象。云母下刻槽内无铜屑，换向片倒角处无毛刺，并能提高换向片的表面硬度，改善电机的换向。用金刚石车刀车削ZQDR-204牵引电动机换向器时的工艺参数如下：吃刀量0.08～0.12mm，走刀0.08mm/r，车头转速92r/min。由于刃口的磨损极小，车削的换向器表面不会有圆锥度，每刃磨一次，可加工几百只换向器。

实际运行证明，换向器表面粗糙度达R_a0.8及以上时，表面易生成完整的氧化膜，从而有利于换向和减小运行火花。修理时由于条件所限，但也应不低于R_a1.6。

2）滚压加工　在车床上利用滚动面对换向器表面进行滚压，实际上是一种冷压加工，常用滚动头的结构如图2-37所示，它用向心球轴承做滚头。滚头后的杆部装有压力指针和压力弹簧，用以调节压力，最后拧紧固定螺栓，使联接滚头的轴杆固定住。

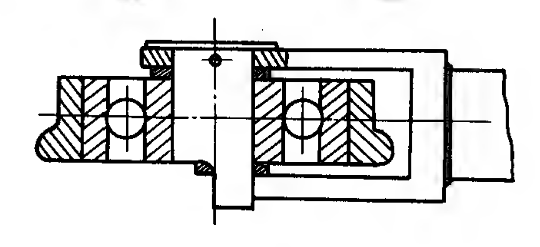


图2-37　换向器表面加工用滚压头

滚压前用YA6车刀或金刚石车刀精车换向器表面，再经滚压后粗糙度可达R_a0.4以上。

一般经冷拉制成的纯铜梯形铜排，HB在85以上，经加工成型特别是在升高片焊头时铜片退火等原因，实际HB只在60～75之间，使换向器不耐磨，经滚压加工后，HB可上升到90以上，因此可延长换向器的使用寿命。

向心球轴承式的滚头，使用数次后，球轴承内的轴销磨损较快，影响滚压的精度。改进的结构中增加一个圆锥滚子轴承，径向间隙可以通过调整套调整。另外，为减小滚压时的侧压力，尽量使云母槽棱角处呈圆弧状，可以采用双滚头或双向对称滚压。

第六节　刷握装置的故障及防止

一、对刷握装置的主要技术要求

刷握装置的主要功能：

1）牢固地把电刷固定在中性位置上。

2）给电刷施加适当的压力，保持与换向器有良好的接触。

3）把带电零件与对地之间可靠地绝缘开。

因此，对其要求是：

1）通过刷握装置，使电刷位置可靠地固定，同时要求能在三个方向调节：

①　电刷沿换向器工作面圆的切线方向应能调节，使电刷处于中性位置后再良好地固定，调节时以火花和两方向的转速均最佳为好。

②　电刷在换向器工作面上轴向位置的调节和固定。电刷边缘距离换向器升高片应有5～8mm，刷盒壁厚一般为3～4mm，除应考虑轴向各零件的公差积累外，还应将可能产生的电枢轴向窜动量计算在内。

③　刷盒底面离换向器工作面的距离应可调节，使保持为2～4mm。

2）刷握装置中通过弹簧的变形，向电刷施加一定的压力，为了保证在冲击振动下电刷与换向器间有良好的接触，应维持电刷单位面积上的压力不小于0.04～0.045MPa。对弹性悬挂的牵引电动机，各块电刷上的压力应均匀，相差不得超过10%，且从新电刷磨耗到允许极限的范围内，压力的变化不超过20%。恒压刷握中的恒力弹簧，在整个工作区域内，压力的变化仅在7%以下，这种新型的刷把结构正在牵引电机领域中得到越来越多的应用。

3）要求把刷盒、电刷等带电部件与地之间可靠绝缘，这依靠刷杆来完成，刷杆除了作为绝缘部件外，还兼作支持刷握的结构件，因此又要求它能承受整个刷握体的重量及在冲击振动下不损坏。

4）刷握装置的各零部件，应尽量体积小，重量轻，使在受冲击振动时的动力作用小，但同时应具有足够的机械强度和刚度。

5）同一台电机上的各刷架，刷盒之间必须保证等分，如装在一个刷架座圈上时，转动刷架座圈，就可很方便地调整电刷到物理中性线上。

6）要求刷握装置结构简单，容易拆换易损零件和更换电刷。

二、刷架圈结构的改进

我国铁道牵引电动机刷握系统的传统结构是采用刷架圈，四只刷握用螺栓固定于刷架圈上，这样可以转动刷架圈来更换电刷和维护刷握，同时转动刷架圈，使刷握转动到更为理想的电气中性线位置，使在整个负荷使用范围内，正向和反向的转速差值减至最小，以弥补由于制造工艺不理想所造成的正、负转速的偏差。刷架圈在缺口处被双头螺栓撑开，紧固在机座（或前端盖）里，但由于刷架圈与机座（或前端盖）的摩擦阻力不足，或由于双头螺栓螺纹的自锁能力不足，其结果是可能产生撑紧螺栓松转和刷架圈松动。目前的改进结构中选用低碳软钢材质刷架圈并进行退火热处理工艺。双头螺栓采用较大外径的细牙螺纹，用带蝶形弹簧的并紧螺母，并在径向采用圆柱插销的定位件结构，以上措施的采用，有效地制止了刷架圈松动而造成换向器环火的恶性故障。

三、中小牵引电动机刷杆的常见故障及防止

图 2-38 为中、小型牵引电动机中最常见的刷杆结构及其支持形式。

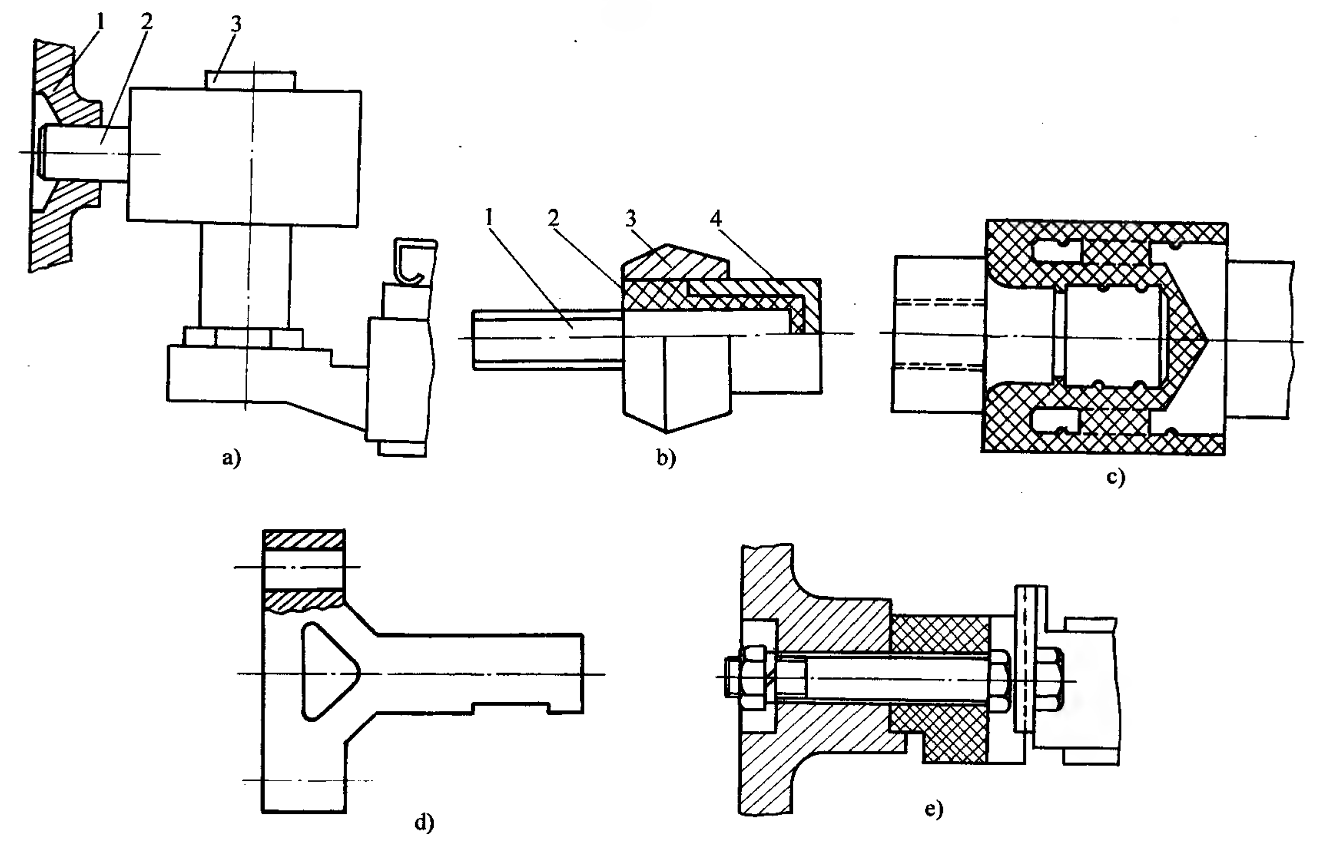


图 2-38　牵引电机常见的刷杆结构

a）焊接式刷杆结构　　b）环氧树脂刷杆结构

1—机座　2—支座　3—刷杆　　1—刷杆　2—环氧树脂　3—瓷瓶　4—钢筒体

c）玻璃钢刷杆结构　d）全塑玻璃钢刷杆结构　e）玻璃钢旋转刷架圈结构

（1）焊接式刷杆　如图 2-38a 示，在早期的中、小牵引电动机中应用较多，其结构特点是简单和牢固。缺点是位置不能调整，焊接不良时会脱落而烧损换向器。防止脱落的措施是：

1）支座长度必须足够，应略伸出机座的凹坑底，使焊接时能和机座熔结成一体。

2）机座体不要过薄，确保有足够长度的圆柱配合面，当刷杆承受较大的外力冲击时，焊缝处不至受到过大的弯矩。

（2）环氧浇铸刷杆　如图 2-38b 所示。

如图，杆和筒体间用环氧树脂浇铸绝缘，表面套瓷瓶。环氧浇铸刷杆的常见故障是易产生裂纹和由于表面不光洁而积灰，直至电气击穿，套装瓷瓶的目的就是为改善这一缺点。

过去，浇铸环氧树脂刷杆时，采用间苯二胺作固化剂，苯二甲酸二丁脂作增塑剂，石英粉作填充剂。

工件浇铸后放入烘炉中烘焙固化。这种配方的缺点是操作时气味浓，易开裂造成废品。现已改用新配方，成分比例为环氧树脂（E-44）100；H-4 环氧漆固化剂 70；石英粉 30。浇铸工艺过程：

1）用甲苯或酒精清洗零件浇铸面的锈斑。

2）将刷杆、筒体及瓷瓶放在夹具中夹紧。

3）称取所需用量的环氧树脂，加热至（40～50℃）熔化，然后按配方比例依次加入干燥的石英粉和 H-4 环氧漆固化剂，每加一种材料后，均需搅拌均匀。

4）将配料倒入刷杆料腔，并清除表面气泡。

5）工件在室温下固化。固化时间和温度是 10～20℃，12h；25～35℃，8h。

（3）玻璃钢刷杆　如图 2-38c，d 所示。

其组合形式大致和环氧刷杆相同，只是两端钢件间用玻璃纤维压塑料压制而成。d）为全塑玻璃钢刷杆结构，其形状为 T 字形，底部有孔，能固定于端盖或机座上，杆部有固定刷盒用的凹槽，这种刷杆为无切屑加工，绝缘强度也很好。

图 2-38e）为采用玻璃钢旋转刷架圈的结构，它同时使刷握带电部分和端盖之间绝缘。

用玻璃纤维织物浸渍树脂后层压或缠绕固化而成的塑料称为玻璃钢，它的机械强度往往能达到和超过一般有色金属，并具有重量轻、加工成型简单、耐腐蚀等优点。

在中、小型牵引电机中，已采用玻璃钢材料制成换向器、刷杆、刷盒、刷架圈、接线板等零件。塑料换向器在普通系列直流电机中早已大量使用，由于牵引电动机工作条件的恶劣，目前应用还不多，实践证明在较低电压级的直流牵引电动机上（250V 以下）是适用的。刷杆和刷盒由于受动力冲击作用较大，因此要求它有足够的强度和刚性；由于它离换向器很近，易受换向火花和飞弧的影响，同时又要求有良好的耐电弧性。D541 和 PMF 玻璃纤维压塑料的耐电弧性很高，同时还具有良好的马丁耐热性，优良的机械性能和电气绝缘性能，具有良好的耐磨性、耐湿热、耐霉菌、耐水和耐酸碱性，因此它是牵引电动机上较理想和适用的玻璃纤维压塑料。目前常用的玻璃纤维压塑料的种类和性能见表 2-40 压制工艺参数见表 2-41。

中、大型牵引电动机的玻璃钢刷杆表面，为增强抗漏电性能，防止积灰造成放电击穿，可用壁厚为 2～3mm 的聚四氟乙烯套管紧配在刷杆体的外圆柱表面，但是通过实践证明，在两端及两者之间的缝隙中仍有炭粉等渗入，因此目前有用玻璃纤维压塑料和聚四氟乙烯一次压制成型的，这种结构消除了绝缘件之间的缝隙，有效地防止了积灰击穿的故障。有些玻璃钢刷杆的外表面具有波纹状或带有大的凸缘边，均可起到加长爬电距离的作用。

表 2-40　常用玻璃纤维压塑料性能和种类

性能 ＼ 压塑料	单位	酚醛玻璃纤维压塑料 4330-2（351-2）	聚胺-酰亚胺玻璃纤维压塑料 D541	三聚氰胺甲醛玻璃纤维压塑料 5350	PMF 苯酚改性三聚氰胺压塑料
密度	/（g/cm^3）	1.78（1.7～1.8）	1.95	2	1.8～1.9
吸水率	/gdm^{-3}%	0.05（0.05）	0.015	0.1	0.03～0.05
马丁耐热	/℃	200（280）	>300	160	180～200
抗张强度	/MPa	500	—	—	—
抗压强度	/MPa	（130）	—	—	—
抗弯强度	/MPa	（180）	>80	80	100～190
抗冲击强度	/MPa	（8）	>	35	20～35
击穿强度	/（kV/mm）	13（13）	14.7	8	12～14
耐电弧性	/s	<150	>190	185～190	>190
体积电阻系数	/Ω·cm	10^{12}（10^{12}）	10^{11}	—	10^{12}～10^{18}
表面电阻系数	/Ω·cm	$\nless 10^{12}$	—	—	10^{12}～10^{18}

表 2-41　玻璃纤维压塑料压制工艺参数

性能 牌　号	密度 /（g/cm³）	压制模温 /℃	单位面积压力 /（kgf/cm²）	压制时间 /（min/mm）	预热条件	后处理	脱模剂
4330-2	1.78	130～160	250～300	2	130℃， 10min 以上	刷 B 级漆后在 130℃ 下烘 4～6h	高温润滑脂
D541	1.95	220～230	150～250	3	180℃， 10min 以上	200℃ ±5℃， 6～8h	甲基硅油
5350	2.0	130～160	250～300	2	130℃， 10min 以上	刷 B 级漆后在 130℃下烘 4～6h	高温润滑脂
PMF	1.8～1.9	160	350	1～2	95℃， 5～10min	刷 B 级漆后在 130℃下烘 4～6h	高温润滑脂

四、刷握装置的常见故障和修理（表 2-42）

表 2-42　刷握装置常见故障、原因和修理

故障	原　　因	修　　理
电刷碎裂火花变大	1）刷盒底平面与换向器工作面间距离太大 2）刷盒变形或方孔变形使电刷与换向器不垂直，双向运转时碰撞电刷	1）铁道牵引电动机一般为 2～4mm，中小牵引电动机取下限值。国外牵引电动机间隙公差较小，一般只有 ±0.4mm 2）更换新刷盒或松开紧固螺栓后调整刷盒位置
电刷正、反转出现两个磨合面	方孔加工不好或变形，磨损或有斜度	换新刷盒或配用适当公差值的刷盒
电刷跳动，换向火花大	1）换向器凸片变形，或磨损后凹陷太大 2）片间云母高出换向器工作表面 3）换向器工作表面有铜刺和尖棱 4）电刷压力太小，使单位面积上的压力不够	1）见前 2）重新下刻云母槽 3）清除铜刺尖棱并重新倒角 4）由于刷握各部件制造尺寸公差的累积及弹簧变形量等原因，电刷压力不均匀达 ±20% 以上，造成电刷电流分配不均，使换向火花增大。此时必须调整弹簧压力或更换弹簧
电刷磨损过快	1）换向器粗糙度差或表面发黑烧伤 2）电刷选型不当或更换电刷时未用原型号电刷 3）工作环境太干燥或湿度太大	1）重新车削工作表面并清理倒角 2）按使用说明书要求选用电刷 3）改善工作环境或更换适用的电刷型号
电刷在刷盒内卡死	1）刷辫线太短，当电刷磨损太多时，刷辫线拉住电刷使与换向器不接触 2）刷盒方孔变形使电刷在某些角处卡死，特别是玻璃钢压制的刷盒热变形比电刷小得多 3）压堵卡住，未压到电刷	1）更换新电刷。平时应经常检查电刷磨损是否已超过限值 2）更换新刷盒，消除卡死现象 3）压堵各销轴关节尺寸配合选择不当或摩擦阻力太大，产生阻滞作用严重时压不到电刷，为此压堵各销轴关节可稍加润滑脂

（续）

故障	原　因	修　理
弹簧断裂	1）恒压弹簧铆接不良或铆孔局部应力大 2）弹簧两端钩子用本身弹簧钢丝弯成，弯折处常有加工应力及轧痕，该处又是最大应力点所在 3）弹簧材料选择及防腐措施不当 4）弹簧表面生锈，弹簧张力减小，防锈处理不当，出现折断现象，热处理硬度过大	1）更换新恒压弹簧或重新铆接 2）两端钩子不用本身簧丝，改用钢片挂钩的结构，可从根本上消除弯折处弹簧断裂的故障 严格簧丝弯折制造工艺特别是两端头挂钩处 3）应用不锈弹簧钢丝加工最好，若用一般的弹簧钢，则表面应磷化和涂瓷漆处理，效果比发兰好 4）同3）条
刷杆对地击穿	1）塑料或环氧刷杆开裂积灰，导致爬电击穿 2）刷杆绝缘选材或压制不当 3）湿度过大，积油积灰严重	1）经常清除积灰，必要时改进和更换刷杆 2）绝缘材质要洁净，绝缘间距应足够 3）经常检查刷杆绝缘状态，并及时清理
刷盒烧损	1）换向器产生环火引起 2）刷架、刷杆脱落 3）电刷与换向器接触不好	1）消除环火的原因，如能选用锡青铜加工的刷盒，其主要性能均优于硅黄铜 2）重新焊牢，并紧固好 3）及时整修到良好接触面

附　　录

附表 2-1　电传动内燃机车牵引电动机主要数据

名称	序号	名称	单位	ZQDR-204	ZQDR-260	ZQDR-306	ZQDR-410	ZQDR-410-1
机车	1	机车种类	—	电传动内燃机车				
	2	机车规格	t	2000HP	1000HP	3000HP	4000HP	4000HP
参数	3	电机额定电压	V	275/410	363/700	380/610	550/800	505/750
	4	额定工作制	—	S1	S1	S1	S1	S1
	5	额定功率	kW	204	260	303	410	410
	6	额定电流	A	820	800	875	800	875
	7	额定转矩	kg·m	396	546	627	637	627
	8	额定转速	r/min	515	473	480	640	650
	9	最大工作转速	r/min	2200	2370	2370	2365	2370
	10	额定效率	%	91.5	90.8	91	93	93
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级		B/B	H/B	H/B	H/B	H/B
	13	电动机总重	kg	3200	2600	2600	3100	2600
电枢	14	电枢直径	mm	493	493	493	493	493
	15	铁心长度	mm	400	490	490	460	490
	16	槽数	槽	50	69	69	50	69
	17	冲片槽尺寸	mm	11.1×57	8.9×47.5	8.9×47.5	11.2×45.5	8.9×47.5
	18	电枢绕组型式	—	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
	19	每元件匝数	匝	1	1	1	1	1
	20	导体尺寸	mm	3(2.44×6.9)	3(1.56×6.4)	3(1.56×6.4)	3(2.26×9.3)	3(1.56×6.4)
换向器刷握	21	换向器直径	mm	400	385	385	400	385
	22	换向片数	片	150	276	276	200	276
	23	片间云母厚	mm	1.0	1.1	1.1	1.2	110
	24	梯形铜排尺寸	mm	9.26×120	4.6×117	4.6×117	6.67×118	4.6×117
	25	梯形铜排角度	度	2°24′	1°18′16″	1°18′16″	1°48′	1°18′16″
	26	刷握数×电刷数	块	4×3	6×3	6×3	4×2	6×3
	27	电刷型号与尺寸	mm	D252 25×50	D376 2(9×35)	D347B 2(9×35)	D374B 25×50	D376 2(9×35)
定子	28	主极/换向极数	个	4/4	6/6	6/6	4/4	6/6
	29	主极匝数	匝	29	11	11	15	11
	30	主极绕组线规	mm	5.5×30	5×40	5×40	4×50	5×40
	31	换向极匝数	匝	21	10	10	14	10
	32	换向极绕组线规	mm	5.5×25	6.5×30	6.5×30	5×40	6.5×30
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	5/10	2.5/5.5	2.5/5.5	5/10	2.5/5.5
	34	换向极一、二气隙	mm	8	5/2.5	5×2.5	7/1	5/2.5
	35	传动端轴承	—	32426	32426	32426	32426	32426
	36	非传动端轴承	—	92417	92417	92417	92417	92417
	37	悬挂传动方式	—	抱轴式	弹性	抱轴式	抱轴式	抱轴式
	38	中心距	mm	468.8	—	468.8	468.8	468.8
铜重	39	主极铜重	kg	263	156	156	167.2	156
	40	换向极铜重	kg	110	118	118	120	118
	41	电枢绕组铜重	kg	176	117	117	175.5	117

（续）

名称	序号	名称	单位	ZQDR-200	ZQDR-250 (GE761-A19)	ZQDR-310	ZD-110	ZD-106
机车	1	机车种类	—	电传动内燃机车				
	2	机车规格	t	914 轨距	米轨	米轨	米轨	东风 11 型
参数	3	电机额定电压	V	350	500	500	400	680
	4	额定工作制	—	S1	S1	S1	S1	S1
	5	额定功率	kW	200	292	310	235	530
	6	额定电流	A	645	645	680	650	835
	7	额定转矩	kg·m	255	362	395	325	541
	8	额定转速	r/min	765	786	765	705	955
	9	最大工作转速	r/min	2500	3100	3100	3100	2385
	10	额定效率	%	88.6	90.54	91.18	—	93.4
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级		H/H	H/H	H/H	H/H	H/H
	13	电机总重	kg	1425	1720	1720	1880	2737
电枢	14	电枢直径	mm	457.2	457.2	457.2	444.5	493
	15	铁心长度	mm	180	260	260	260	315
	16	槽数	槽	58	58	58	58	58
	17	冲片槽尺寸	mm	7.24×41.68	7.24×41.68	7.24×41.68	—	10.2×43.7
	18	电枢绕组型式	—	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
	19	每元件匝数	匝	1	1	1	1	1
	20	导体尺寸	mm	3.78×5.7	3.78×5.7	3.78×5.7	—	2.05×8.7
换向器刷握	21	换向器直径	mm	323.9	323.9	323.9	—	390
	22	换向片数	片	232	232	232	232	232
	23	片间云母厚	mm	1.2	1.2	1.2	—	1.2,1.3 各半
	24	梯形铜排尺寸	mm	4.237×110	4.237×110	4.237×110	—	5.59×118
	25	梯形铜排角度	度	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″
	26	刷握数×电刷数	块	4×2	4×2	4×2	4×2	4×2
	27	电刷型号与尺寸	mm	T900 19.05 ×38.1	T900 19.05 ×38.1	T900 19.05 ×38.1	T900 19.05 ×38.1	D374 20 ×43
定子	28	主极/换向极数	个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
	29	主极匝数	匝	16(7+9)	16(7+9)	16(7+9)	—	18
	30	主极绕组线规	mm	7.4×18.2	7.4×18.2	7.4×18.2	—	7×30
	31	换向极匝数	匝	18	18	18	—	19
	32	换向极绕组线规	mm	5×30	5×30	5×30	—	6×35
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	3.6/7.2	3.6/7.2	3.6/7.2	—	—
	34	换向极一、二气隙	mm	7.7/1.3	7.7/1.3	7.7/1.3	—	—
	35	传动端轴承	—	32326	32326	32326	32326	E32330
	36	非传动端轴承	—	6318	6318	6318	6318	62318
	37	悬挂传动方式	—	抱轴式	抱轴式	抱轴式	抱轴式	架承式
	38	中心距	mm	393.7	393.7	393.7	393.7	—
铜重	39	主极铜重	kg	92	92	92	—	—
	40	换向极铜重	kg	78	78	78	—	—
	41	电枢绕组铜重	kg	70	70	70	—	—

（续）

名称	序号	名称	单位	ZD-109（ZQDR-410C）	ZD109A	ZD109B	ZD109C	GDTM533
机车	1	机车种类	—	电传动内燃机车				
	2	机车规格	t	东风 8	东风 4E	东风 4B	东风 8B	ND_2
参数	3	电机额定电压	V	645	670	670	670	275
	4	额定工作制	—	S1	S1	S1	S1	S1
	5	额定功率	kW	480	530	530	530	200
	6	额定电流	A	800	845	845	845	820
	7	额定转矩	kg · m	613	685	667	685	394
	8	额定转速	r/min	764	754	770	754	495
	9	最大工作转速	r/min	2350	2350	2350	2385	2300
	10	额定效率	%	93.02	93	93	93	—
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级		H/H	H/H	H/H	H/H	F
	13	电机总重	kg	3060	3000	2850	2850	2100
电枢	14	电枢直径	mm	493	493	493	493	542
	15	铁心长度	mm	390	390	390	390	250
	16	槽数	槽	58	58	58	58	75
	17	冲片槽尺寸	mm	10.2×43.7	10.2×43.7	10.2×43.7	10.2×43.7	8.8×33.5
	18	电枢绕组型式	—	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
	19	每元件匝数	匝	1	1	1	1	1
	20	导体尺寸	mm	2(2×8.7)	2(2×8.7)	2(2×8.7)	2(2×8.7)	2.8×5.6
换向器刷握	21	换向器直径	mm	390	390	390	390	320
	22	换向片数	片	232	232	232	232	300
	23	片间云母厚	mm	1.2(1.3)各半	1.2,1.3 各半	1.2,1.3 各半	1.2,1.3 各半	—
	24	梯形铜排尺寸	mm	5.59×118	5.59×118	5.59×118	5.59×118	—
	25	梯形铜排角度	度	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	—
	26	刷握数×电刷数	块	—	4×3	4×3	4×3	4×2
	27	电刷型号与尺寸	mm	D374(2×10)×43	D374B 2×10×43	D374B 2×10×43	D374B 2×10×43	D374B 2×1.25×50
定子	28	主极/换向极数	个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
	29	主极匝数	匝	18(7+11)	18	18	18	13
	30	主极绕组线规	mm	7×30	7×30	7×30	7×30	5×45
	31	换向极匝数	匝	18	18	18	18	11
	32	换向极绕组线规	mm	6×35	6×35	6×35	6×35	9×22
总装	33 34 35 36 37 38	主极中心/边缘气隙 换向极一、二气隙 传动端轴承 非传动端轴承 悬挂传动方式 中心距	mm mm — — — mm	8/10.5/1.8 — E32330 62318 抱轴式 468.8	8.15/10.5/1.5 — E32330 62318 抱轴式 468.8	8.15/10.5/1.5 — E32330 62318 滚动抱轴承	8.15/10.5/1.5 — E32330 62318 抱轴式 468.8	6.5 7.5 — 8G32424 3G3618 抱轴式 472.36
铜重	39	主极铜重	kg	198	198	198	198	—
	40	换向极铜重	kg	167.9	167.9	167.9	167.9	—
	41	电枢绕组铜重	kg	127.6	127.6	127.6	127.6	—

（续）

名称	序号	名称	单位	GE752AF8	ZD108	ZD108A	ZQDR-317	ZQDR-328	ZQDR-500
机车	1	机车种类	—	电传动内燃机车			电动轮自卸卡车		
	2	机车规格	t	ND_5	东风6		100	100	154
参数	3	电机额定电压	V	345	386	620	432/700	600/900	580/800
	4	额定工作制	—	S1	S1	S1	S1	S1	S1
	5	额定功率	kW	375	400	630	317	328	500
	6	额定电流	A	1180	1150	1130	795	600	935
	7	额定转矩	kg·m	850	812.5	802.9	540	488	451
	8	额定转速	r/min	430	480	765	583	642	1080
	9	最大工作转速	r/min	2450	2320	2445	2085	2345	2750
	10	额定效率	%	90	—	89.92	92.1	92.2	94
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串	他励
	12	定子/转子绝缘等级		H/H	H/H	H/H	H/B	F/F	H/H
	13	电机总重	kg	3269	—	—	3300	3500	3600
电枢	14	电枢直径	mm	488.95	488.95	488.95	493	451	419.1
	15	铁心长度	mm	384	393.7	393.7	490	435	415
	16	槽数	槽	46	46	46	69	58	50
	17	冲片槽尺寸	mm	13.72×38.99	13.72×38.99	13.72×38.99	8.9×47.5	8.2×45	8.25×41.8
	18	电枢绕组型式	—	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
	19	每元件匝数	匝	1	1	1	1	1	1
	20	导体尺寸	mm	3.51×6.05	3.51×6.05	3.51×6.05	3(1.56×6.4)	4(4.25×6.3)	3(2.65×7.1)
换向器刷握	21	换向器直径	mm	422.3	422.3	422.3	385	365	343
	22	换向片数	片	184	184	184	276	232	150
	23	片间云母厚	mm	1.52	1.52	1.6	1.1	1.2	1.5
	24	梯形铜排尺寸	mm	6.65×90	6.65×90	6.65×90	4.6×117	5.07×102.5	7.066×89
	25	梯形铜排角度	度	1°57′23″	1°57′23″	1°57′23″	1°18′16″	1°33′66″	1°24′
	26	刷握数×电刷数	块	4×3	4×3	4×3	6×3	4×3	4×3
	27	电刷型号与尺寸	mm	T900 19.05×57.15	T900 19.05×57.15	T900 19.05×57.15	D376 2(9×35)	2(10×35)	2(9.525×57.15)
定子	28	主极/换向极数	个	4/4	4/4	4/4	6/6	4/4	4/4
	29	主极匝数	匝	14(8+6)	14(8+6)	14(8+6)	11	16	43.5
	30	主极绕组线规	mm	9.34×28.8(内) 10.16×28.8(外)	9.35×28.8	9.35×28.8	5×40	4.5×31.5	1.4×35.5
	31	换向极匝数	匝	15	15	15	10	18	12
	32	换向极绕组线规	mm	8.763×31.73	8.763×31.73	8.77×31.73	6.5×30	4×35.5	8.1×31.5
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	5/10	5/10	5/10	2.5/5.5	3.3/6.6	2.9/5.8
	34	换向极一、二气隙	mm	9.14/4.25	9.14/4.25	9.14/4.25	5/2.5	5.6/2.5	3.1/5.3
	35	传动端轴承	—	8G32330	8G32330	8G32330	32224	32224	32224
	36	非传动端轴承	—	8G62320	8G62320	8G62320	92318	6318	6318
	37	悬挂传动方式	—	抱轴式	抱轴式	滚动抱轴承	弹性	弹性	弹性
	38	中心距	mm	468.8	468.8	—	—	—	—
铜重	39	主极铜重	kg	292	292	292	156	110	114.7
	40	换向极铜重	kg	—	—	—	118	102	116
	41	电枢绕组铜重	kg	—	—	—	117	100	86.4

附表 2-2　国产工矿牵引电动机主要数据

名称	序号	名称	单位	ZQ-2B	ZQ-4B	ZQ-6/1200B	ZXQB-7.5/90	ZQ-8B
机车	1	机车种类	—	蓄电池式井下矿用电机车				
	2	机车规格	t	2.5	2.5	2.5	5	5
参数	3	电机额定电压	V	52	48	60	90	82
	4	额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
	5	额定功率	kW	2.4	3.5	6.3	7.5	8
	6	额定电流	A	60	105	135	100	116
	7	额定转矩	N·m	23.8	35	47	64.6	66.1
	8	额定转速	r/min	985	960	1280	1110	1180
	9	最大工作转速	r/min	—	2400	2000	2220	1800
	10	额定效率	%	78.4	69	—	83.4	82.7
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	B/B
	13	电机总重	kg	120	137	140	180	175
电枢	14	电枢直径	mm	162	153	152.3	162	162
	15	铁心长度	mm	55	137	135.5	145	140
	16	槽数	槽	31	35	31	31	31
	17	冲片槽尺寸	mm	6.5×21.2	5.5×17.4	6.3×17.3	5.5×19.4	6.5×21.2
	18	电枢绕组型式	—	单波	单波(死元件1)	单波	单波	单波
	19	每元件匝数	匝	2	1	1	1	1
	20	导体尺寸	mm	1.45×4.1	1.56×6.4	2.24×6	2(1.25×3.55)	1.45×4.1
换向器刷握	21	换向器直径	mm	132	116	116	132	132
	22	换向片数	片	93	69	61	93	93
	23	片间云母厚	mm	0.8	0.8	—	—	0.8
	24	梯形铜排尺寸	mm	—	6.2×42	7.35×2.95	—	4.87×44
	25	梯形铜排角度	度	—	5°13′2″	5°54′6″	—	3°52′16″
	26	刷握数×电刷数	块	4×1	4×1	4×2	4×2	4×2
	27	电刷型号与尺寸	mm	D252 10×25	M3 12.5×25	— 16×25	— 10×25	D374B 10×25
定子	28	主极/换向极数	个	4/0	4/0	4/0	4/0	4/0
	29	主极匝数	匝	25.5	12	—	—	22.5
	30	主极绕组线规	mm	4.1×4.7	2(2.83×6.4)	—	3.15×5.3	3.53×9.3
	31	换向极匝数	匝	—	—	—	—	—
	32	换向极绕组线规	mm	—	—	—	—	—
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	1	1	—	—	1
	34	换向极一、二气隙	mm	—	—	—	1.2/2	—
	35	传动端轴承	—	—	207	—	—	32207
	36	非传动端轴承	—	—	207	—	—	207
	37	悬挂传动方式	—	双级	半弹性	—	—	双级
	38	中心距	mm	—	—	—	—	—
铜重	39	主极铜重	kg	5.08	8.8	—	—	13.86
	40	换向极铜重	kg	—	—	—	—	—
	41	电枢绕组铜重	kg	4.65	3.85	—	—	6.2

（续）

名称	序号	名称	单位	ZQ-11B	ZQ-15B	ZQ-3	ZQ-4-2	ZQ-7
机车	1	机车种类	—	蓄电池式井下矿用电机车		直流架线式井下矿用电机车		
	2	机车规格	t	8	8	1.5	1.5	1.5,3
参数	3	电机额定电压	V	120	130	250	100	250
	4	额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
	5	额定功率	kW	11	15	3.3	3.5	6.5
	6	额定电流	A	112	136	16.5	45	31
	7	额定转矩	N·m	290	138	26.8	36.2	53.5
	8	额定转速	r/min	370	1060	1200	960	1186
	9	最大工作转速	r/min	1400	2230	2400	2400	2380
	10	额定效率	%	81.8	86	80	77.7	84.4
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	B/B
	13	电机总重	kg	480	362	115	120	165
电枢	14	电枢直径	mm	335	245	162	153	162
	15	铁心长度	mm	77	105	70	137	140
	16	槽数	槽	43	41	31	35	31
	17	冲片槽尺寸	mm	8.95×35.8	6.5×22.8	5.7×23	5.5×17.4	5.7×23
	18	电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波
	19	每元件匝数	匝	2	1	6	2	3
	20	导体尺寸	mm	1.81×6.9	2(1.4×4.25)	φ1.25	1.56×2.83	1.16×2.83
换向器刷握	21	换向器直径	mm	290	200	130	116	130
	22	换向片数	片	129	123	93	69	93
	23	片间云母厚	mm	0.8	1.0	0.8		0.8
	24	梯形铜排尺寸	mm	7.02×49	5.41×59	4.87×44	6.2×42	4.87×44
	25	梯形铜排角度	度	2°47′26″	2°55′37″	3°52′16″	5°13′2″	3°52′16″
	26	刷握数×电刷数	块	4×1	2×2	2×1	2×2	2×1
	27	电刷型号与尺寸	mm	D374B 20×50	D374B 16×32	D374B 10×25	M3 12.5×25	D252 10×25
定子	28	主极/换向极数	个	4/0	4/3	4/0	4/0	4/4
	29	主极匝数	匝	46	23	96.5	28	72.5
	30	主极绕组线规	mm	1.68×22	2(1.8×11.2)	1.25×4.4	2.26×6.9	2.44×4.1
	31	换向极匝数	匝	—	18	87.5	—	40.5
	32	换向极绕组线规	mm	—	2(1.8×11.2)	1.25×4.4	—	2.44×4.1
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	2	1.5	1	1	1
	34	换向极一、二气隙	mm	—	1.8	1.7	—	1.7
	35	传动端轴承	—	32413	32313	32207	207	32207
	36	非传动端轴承	—	310	92310	207	207	207
	37	悬挂传动方式	—	抱轴式	双级	半弹性	—	双级
	38	中心距	mm	312	—	—	—	—
铜重	39	主极铜重	kg	36	18.8	4.7	13	13.2
	40	换向极铜重	kg	—	7.5	3.8	—	5.6
	41	电枢绕组铜重	kg	21.5	10.4	2.9	3.33	5.2

（续）

名称	序号	名称	单位	ZQ-12	ZQ-12A	ZQ-8	ZQ-18-1	ZQ-21
机车	1	机车种类	—	直流架线式井下矿用电机车				
	2	机车规格	t	3	3	6	6	7、10
参数	3	电机额定电压	V	250	250	250	550	250
	4	额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
	5	额定功率	kW	12.2	12.2	18	18	20.6
	6	额定电流	A	58	59.5	82	37.5	95
	7	额定转矩	N · m	247.6	247.6	128	128.6	334
	8	额定转速	r/min	480	480	1365	1365	600
	9	最大工作转速	r/min	1400	1400	2870	2870	1400
	10	额定效率	%	84.1	82	89	88.7	87
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	E(后 B)
	13	电机总重	kg	500	420	—	—	545
电枢	14	电枢直径	mm	335	335	245	245	335
	15	铁心长度	mm	80	68	92	120	126
	16	槽数	槽	43	37	41	41	43
	17	冲片槽尺寸	mm	8.75 × 35.6	12.8 × 36.5	7.7 × 25.7	6.1 × 22.4	8.95 × 35.8
	18	电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波
	19	每元件匝数	匝	2	3	2	3	2
	20	导体尺寸	mm	1 × 6.9	1.45 × 4.4	1.80 × 5.5	1.25 × 2.65	1.81 × 6.9
换向器刷握	21	换向器直径	mm	290	290	200	200	290
	22	换向片数	片	215	185	123	123	129
	23	片间云母厚	mm	0.8	0.8	1.0	1.0	0.8
	24	梯形铜排尺寸	mm	3.94 × 49	4.68 × 49	5.26 × 56	5.41 × 59	7.02 × 49
	25	梯形铜排角度	度	1°40′27″	1°56′45″	2°55′37″	2°55′37″	2°47′26″
	26	刷握数 × 电刷数	块	2 × 1	2 × 1	4 × 2	4 × 1	2 × 1
	27	电刷型号与尺寸	mm	D214 20 × 50	D374B 16 × 32	D374B 2(10 × 25)	D374B 10 × 25	D374B 20 × 50
定子	28	主极/换向极数	个	4/0	4/3	4/4	4/4	4/3
	29	主极匝数	匝	92.5	88.5	43.5	89.5	54.5
	30	主极绕组线规	mm	2.83 × 7.4	2.83 × 6.4	2.24 × 5	2.24 × 5	4.1 × 7.4
	31	换向极匝数	匝	—	95.5	35.5	53.5	39.5
	32	换向极绕组线规	mm	—	2.83 × 6.4	2.24 × 5	2.24 × 5	4.1 × 7.4
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	2	1.5	1.8/2.6	1.8/2.6	2
	34	换向极一、二气隙	mm	—	1.9	3	3	2
	35	传动端轴承	—	32413	32413	32313	32313	32413
	36	非传动端轴承	—	310	310	310	310	310
	37	悬挂传动方式	—	抱轴式	抱轴式	双级	双级	抱轴式
	38	中心距	mm	312	312	—	—	312
铜重	39	主极铜重	kg	42	34.6	18.5	23.6	38
	40	换向极铜重	kg	—	15.6	8.8	6.7	12
	41	电枢绕组铜重	kg	22	24.8	12.6	7.5	24.5

（续）

名称	序号	名称	单位	ZQ-24	ZQ-30	ZQ30-2 30-4	ZQ-46A	ZQ-46B
机车	1	机车种类	—	直流架线式井下矿用电机车				
	2	机车规格	t	7、10	10	10	14	14
参数	3	电机额定电压	V	550	250	550	250	550
	4	额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
	5	额定功率	kW	24	30	30	46	46
	6	额定电流	A	50.5	134	61	212	96.5
	7	额定转矩	N·m	390	204	204	846	800
	8	额定转速	r/min	600	1435	1435	530	560
	9	最大工作转速	r/min	1400	3014	3014	2050	2050
	10	额定效率	%	86.8	89.7	90.5	90.6	90.6
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	B/B
	13	电机总重	kg	545	390	410	1005	1005
电枢	14	电枢直径	mm	335	245	245	440	440
	15	铁心长度	mm	126	160	175	150	150
	16	槽数	槽	37	41	41	43	43
	17	冲片槽尺寸	mm	10.65×36.1	6.7×22.5	6.5×22.8	10.8×35	10.8×35
	18	电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波(死元件1)	单波(死元件1)
	19	每元件匝数	匝	3	1	2	1	1
	20	导体尺寸	mm	1.35×4.4	1.45×7.1	1.4×4.25	1.81×6.4	1.81×6.4
换向器刷握	21	换向器直径	mm	290	200	200	390	390
	22	换向片数	片	185	123	123	171	171
	23	片间云母厚	mm	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	24	梯形铜排尺寸	mm	4.68×49	5.41×59	5.41×59	7.32×70	7.32×70
	25	梯形铜排角度	度	1°56′45″	2°55′37″	2°55′37″	2°6′	2°6′
	26	刷握数×电刷数	块	2×1	2×2	2×2	2×2	2×2
	27	电刷型号与尺寸	mm	D374B 16×32	D374B 2(16×32)	D374B 3(12.5×25)	D214 25×40	D214 25×40
定子	28	主极/换向极数	个	4/3	4/4	4/4	4/4	4/4
	29	主极匝数	匝	104.5	27.5	64.5	36	82
	30	主极绕组线规	mm	3.05×5.1	2(2.63×7.4)	2.81×7.1	3.05×22	1.5×22
	31	换向极匝数	匝	92.5	17.5	35.5	25	50
	32	换向极绕组线规	mm	3.05×5.1	2(2.63×7.4)	2.81×7.1	3.8×16.8	1.9×16
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	1.2/1.5	1.8/2.6	1.8/2.6	3	3
	34	换向极一、二气隙	mm	2	3/0.3	2.6/0.2	4	4
	35	传动端轴承	—	32413	32313	32313	32617	32617
	36	非传动端轴承	—	310	310	310	62613	62613
	37	悬挂传动方式	—	抱轴式	双级	双级	抱轴式	抱轴式
	38	中心距	mm	312	—	—	371.5	371.5
铜重	39	主极铜重	kg	32.8	24.3	31.5	81	81.5
	40	换向极铜重	kg	13.8	10.8	11.68	32.6	28.5
	41	电枢绕组铜重	kg	27.4	10.6	11.23	41	42

（续）

名称	序号	名称	单位	ZQ-52 52-4	ZQ-78 （原82）	ZQ-110	ZQ-76	ZQ-98
机车	1	机车种类	—	直流架线式工矿电机车			直流电动车辆	
	2	机车规格	t	井下14	井下20	露天20、40	地铁	地铁
参数	3	电机额定电压	V	550	550	750	750/2	750/2
	4	额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
	5	额定功率	kW	52	78(82)	110	76	98
	6	额定电流	A	105	154(162)	161	230	290
	7	额定转矩	N·m	390	665	884	557	620
	8	额定转速	r/min	1300	1200	1212	1330	1540
	9	最大工作转速	r/min	2800	2455	2500	3080	2930
	10	额定效率	%	91.5	92	91.47	88.7	90.8
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串（自调碳）
	12	定子/转子绝缘等级		B/B	H/B	B/B	B/B	H/B
	13	电机总重	kg	645	765	865	680	710
电枢	14	电枢直径	mm	310	331	331	320	327
	15	铁心长度	mm	200	220	286	226	190
	16	槽数	槽	45	39	39	47	43
	17	冲片槽尺寸	mm	9.3×38.2	10.2×30.6	10.1×29.2	7.85×35	8.1×33.4
	18	电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波、平放
	19	每元件匝数	匝	2	1	1	1	1
	20	导体尺寸	mm	1.81×6.9	2(1.45×5.9) 原1.56	2(1.16×4.7)	2(1.35×5.9)	4×6.3
换向器刷握	21	换向器直径	mm	264	305	305	285	280
	22	换向片数	片	135	195	195	141	129
	23	片间云母厚	mm	1.1	1.1	1.1	1.4	1.4
	24	梯形铜排尺寸	mm	6.085×68	4.27×62.5	4.27×62.5	5.89×67.5	6.72×71
	25	梯形铜排角度	度	2°40′	1°50′46.1″	1°50′46.1″	2°33′11.5″	2°47′26″
	26	刷握数×电刷数	块	2×2	4×1	4×1	4×2	4×2
	27	电刷型号与尺寸	mm	D374B 16×32	D374B 16×50	D374B 16×50	D374B 20×32	D374B 2(10×32)
定子	28	主极/换向极数	个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
	29	主极匝数	匝	39.5	30	33	30	13+12
	30	主极绕组线规	mm	4.1×7.4	1.81×22	1.81×22	2.26×22	3.15×25, 3.36×20
	31	换向极匝数	匝	39.5	29	30	21	21
	32	换向极绕组线规	mm	4.1×7.4	1.81×22	1.81×22	2.26×22	2.8×28
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	2.75	2.8	2.8	5.8	3.5/7
	34	换向极一、二气隙	mm	4/0.5	5/0.5	5/0.5	5/0.5	6/1
	35	传动端轴承	—	32413	27313	32315	32313	32313
	36	非传动端轴承	—	410	7315	61312	62310	62310
	37	悬挂传动方式	—	双级	双级	—	弹性	弹性
	38	中心距	mm	—	—	—	—	—
铜重	39	主极铜重	kg	35.6	36	45.8	45	41.7
	40	换向极铜重	kg	27.4	25.8	33	27	33
	41	电枢绕组铜重	kg	31.9	35.5	22.2	22.2	30.5

（续）

名称	序号	名称	单位	ZQ-60H	ZQ-100	ZQ110-1	ZQ-220	ZQ350-1
机车	1	机车种类	—	直流电动车辆	直流电动车辆		直流准轨架线工矿电机车	
	2	机车规格	t	无轨电车	无轨电车	电动客车	80	100、150
参数	3	电机额定电压	V	600	600	1500/2	1500/2	1500
	4	额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
	5	额定功率	kW	60	100	110	220	350
	6	额定电流	A	113	183	163	325	250
	7	额定转矩	N·m	436	745	1094	4050	4400
	8	额定转速	r/min	1340	1300	980	530	775
	9	最大工作转速	r/min	—	2500	1600	1830	1790
	10	额定效率	%	88.3	91.5	90.8	90.6	99.4
	11	励磁方式	—	串	串	串	串	串
	12	定子/转子绝缘等级	—	H	B/B	B/B	B/B	B/B
	13	电机总重	kg	710	730	1200	2920	3150
电枢	14	电枢直径	mm	280	294	331	450	560
	15	铁心长度	mm	310	300	360	450	340
	16	槽数	槽	41	37	39	57	63
	17	冲片槽尺寸	mm	10×26.5	10.7×28.2	10.1×29.2	10.2×43.2	12.6×48
	18	电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波
	19	每元件匝数	匝	1	1	1	1	1
	20	导体尺寸	mm	2(1×4.4)	2(1.50×5.0)	2(1.35×4.7)	2(1.81×7.4)	2(1.45×8.6)
换向器刷装	21	换向器直径	mm	250	250	305	385	495
	22	换向片数	片	205	185	195	171	315
	23	片间云母厚	mm	0.8	0.8	1.1	1.0	1.4
	24	梯形铜排尺寸	mm	—	4.22×59.5	4.27×62.5	7.15×75	4.31×82
	25	梯形铜排角度	度	—	—	1°50′46.1″	2°6′	1°8′34.3″
	26	刷握数×电刷数	块	4×2	4×2	4×1	4×2	4×2
	27	电刷型号与尺寸	mm	D374B 20×32	D374B 16×32	D374B 16×50	D374B 20×50	D374B 20×32
定子	28	主极/换向极数	个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
	29	主极匝数	匝	—	20	33	32	53
	30	主极绕组线规	mm	2.44×13.5	2.0×28	1.81×22	3.5×25	3×25
	31	换向极匝数	匝	—	26.5	30	25	47
	32	换向极绕组线规	mm	1.81×16.8	2.0×25	1.81×22	4.7×18	2.44×30
总装	33	主极中心/边缘气隙	mm	1.5/3	2.5/5.5	2.8	3.25	8/16
	34	换向极一、二气隙	mm	3.5	4.5/0.5	5	4	8.8/1.2
	35	传动端轴承	—	—	46313	32319	32424	42422
	36	非传动端轴承	—	—	2310	62312	92417	42422
	37	悬挂传动方式	—	弹性	弹性	抱轴式	抱轴式	抱轴式
	38	中心距	mm	—	—	422	462.25	506
铜重	39	主极铜重	kg	—	—	57.6	172	212
	40	换向极铜重	kg	—	—	41.4	86	123
	41	电枢绕组铜重	kg	—	—	29.6	78	133

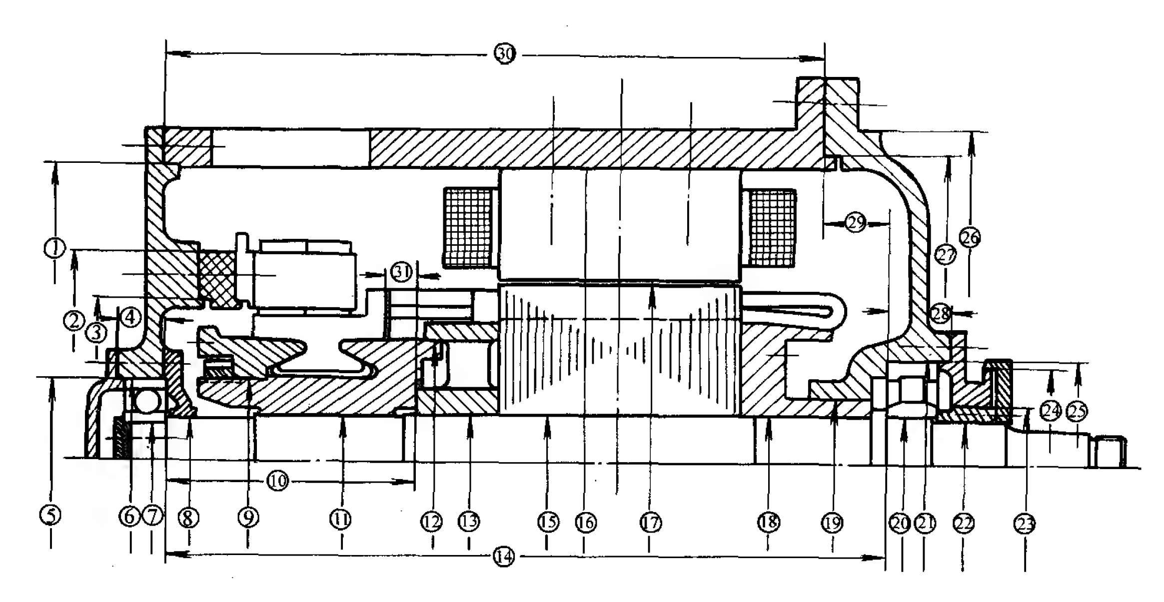
附表 2-3 辅助牵引电动机技术数据

型号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	最高转速/(r/min)	励磁方式	定额	电枢													主极					
								外径/内径/mm	长度/mm	槽数	槽宽	槽深	每线圈元件数	每元件匝数	每槽导体数	并联支路数	绕组型式	节距	线规/mm	导线重/kg	极数	极身宽/mm	极靴宽/mm	极长/mm	气隙/mm	每极匝数
YD-01	1.5	600	3.5	1400		串	h	139/—	75	25			5	13	130	2	单波	1—7	φ0.71	3	4	44	74	75		281
ZQD-1.9	1.9	550	4.45	1250		串	25%	120/32	110	24			4	14	112	2	单叠	1—13	φ0.67	2.9	2	56	113	110	1	410
ZQD-4	4	750	7.6	2800	3360	串	连续	195/55	110	31			5	3	30	2	单波	1—9	φ1.5	6.2	4	58	101	110	1.5	202
ZQD-4A	4	400	14	2800	3360	串	连续	195/55	110	31			4	2	16	2	单波	1—9	2-φ1.45	4.8	4	58	101	110	1.5	100
ZQF-5-1	4.5	48	93	2100	2790	并励	连续	210/80	170	27	8.6	20.8	2	1	4	2	单叠	1—13	6.9×3.05		2				2.5	
ZQF-5-2	4.5	50	90	1290	1850	并励	连续	282/105	80	27	9	31.5	4	1	16	2	单波	1—7	1.25×5.5		4	100	140	80	4	510
ZQD-5	5	550	13	2550	3360	复励	连续	195/55	125	31			5	2	20	2	单波	1—9		6.2	4	58	101	125	1.5	串 59 并 260
ZQD-6	5.7	1500	5.43	2100	2790	复励	连续	210/80	170	27	11.3	21.7	7	5	70	2	单叠	1—13	φ0.9		2			170	2.5	
ZQD-8	7.7	1500	7.3	1420	2130	串励	连续	230/70	239	33	10.5	28.5	5	6	60	2	单叠	1—16	φ1.16		2	64×2	122×2	230	3	270.5
ZQD-11	11.3	1500	9.4	1290	1850	串励	连续	353/115	150	45	11	22.2	5	4	40	2	单波	1—12	φ1.35		4	90	175	154	3.5	335
ZQD-14-2	13.8	1500	12.5	900	1350	串励	50%	354/115	140	45	10.2	24.4	5	5	50	2	单波	1—12	φ1.3		4	90	175	154	3	325
ZQD-15	15	1500	14	1850	2800	串励	50%	230/70	239	33	10	30	5	4	40	2	单叠	1—16	1×2.1		2	64×2	122×2	230	3	193.5
ZQD-15-1	15	750	27.5	1850	2800	串励	50%	230/70	200	33	9.6	22.6	5	2	20	2	单叠	1—16	1×4.4	12.4	2	64×2	122×2	206	2.5	106
ZQD-40	40	1500	30	1500	1800	复励	25%	368/100	190	57	9.4	20.5	5	2	20	2	单波	1—15	0.9×2.83		4	125	192	200	4	串 11 并 4500
KWD-450-1	2.5	550				串励	30分	228/	76	45	6.4	30	3	11	66	2	单波	1—12	φ0.9	4.3	4	77	115	77	1.5	767

（续）

型号	主极		换向极									换向器					电刷				轴承		总重/kg
	线规/mm	导线重/kg	极数	极身宽/mm	极靴(尖)宽/mm	极长/mm	气隙/mm	第二气隙/mm	每极匝数	线规/mm	导线重/kg	工作面直径/mm	工作面长/mm	换向片全长/mm	片数	节距	电刷杆数	每杆刷盒数	型号	尺寸/mm	换向器侧	非换向器侧	
YD-01	ϕ1.4	2.8	4	18	18	60			241	ϕ1.04	1.6	125	22	30	125	1—63	4	1	D308	10×12.5	6205	6306	
ZQD-1.9	ϕ1.56	2.2	1	25	25	90	1.5		440	ϕ1.56	1.8	100	42	50	96	1—2	2	1			305	206	190
ZQD-4	1.08×3.28	12.4	4	25	25	90	2.5		70	1.08×3.28	2.5	145	41	50	155	1—78					308	32309	210
ZQD-4A	1.35×4.7		4	25	25	90	2.5		35	1.35×4.7		146	41	50	123	1—62	4	1	D374B	10×12.5	308	32309	
ZQF-5-1	1.35×2.26		2				5			4.1×5.9		180			54	1—2	2	3		16×20			770
ZQF-5-2	ϕ2.1	38	0									224	48	60	107	1—54	2	1	D252	16×32			248
ZQD-5	串1.35×4.7 并ϕ1.25	12.8	4	25	25	92	2.5		49	1.35×4.7	3.3	145	41	50	155	1—78					308	32309	
ZQD-6	并ϕ2.1 串ϕ0.47		2				5			ϕ2.1		180			189	1—2	2	2		10×10			770
ZQD-8	1.25×2.83	24	2	34	62	210	6.5		290.5	1.25×2.83	10.6	210	54	66	165	1—2	2	2	D252	10×16	309	32411	575
ZQD-11	ϕ2.83	51.6	4	20	29	150	3.5		158	ϕ2.83	16.7	310	39	51.5	225	1—113	2	1	D252	12.5×25	306	32417	750
ZQD-14-2	ϕ2.44	37.4	4	20	29	150	3		190	ϕ2.44	14.6	310	39	51.5	225	1—113	2	1	D252	12.5×25			648
ZQD-15	1.81×2.83	26	2	31	62	210	6.5		192.5	1.81×2.83	10	210	54	66	165	1—2	2	2	D252	10×16	309	32411	575
ZQD-15-1	2.1×3.8	18.8	2	35	60	200	6		96	2.1×3.8	6.5	210	65	78	165	1—2	2	2	D374B	12.5×25	309	32411	450
ZQD-40	串2.26×4.1 并ϕ0.62	43	4	20	28	200	5		85	2.26×4.1	14.8	345	40	55	285	1—143	4	1	D252	16×25	316	32417	810
KWD-450-1	ϕ1.81		0									151	36	44.5	135	1—68	2	1	D214	9×26			

附表 2-4　牵引电动机主要尺寸的公差配合



配合部位	公差配合和精度	
	GB159—59	GB1801—79
① 前端盖和机座配合止口	D/gc(或 gb)	H7/K6(m6)
② 刷架圈外圆与端盖配合止口	D3/d6	H8/h11
③ 刷架圈内圆与端盖配合止口	D6/d4	H11/h8(或 h9)
④ 前端盖轴承室长度	d5	h10
⑤ 前轴承外盖与端盖轴承孔	D/d3(或 dc4)	H7/h7(或 f9)
⑥ 前轴承外圈与端盖轴承孔	Gd/	J7/
⑦ 端轴承内孔与轴间	/gb	/m6
⑧ 前轴承内盖内孔与轴间	D6/dd6	H11/b11(或 C10、C11)
⑨ 换向器压圈与套筒间	D/gc(或 gd)	H7/k6(或 js6)
⑩ 电枢前压圈外侧平面与轴端或轴承档肩的长度	d6	h11
⑪ 换向器套筒内孔与轴间	由计算决定一般 D/je	一般 H7/r6 或 S6
⑫ 换向器压圈与套筒密封配合处	D4/de4	H9/d9
⑬ 电枢前压圈与轴间	GC/jc 或 jf	K7/r6
⑭ 两端轴承档间距离	d6	h11
⑮ 电枢冲片内孔与轴间	D3/je 或 jf	H8/r6
⑯ 机座磁极内孔处	D4	H9
⑰ 冲片槽形公差	D4 或 D5	H9 或 H10
⑱ 电枢后圈内孔与轴间	D/je 或 D4/ga3	H7/r6 或 H9/n7
⑲ 端盖内孔与电枢后压圈或轴承外圈	D6/dd6	H11/b11(或 c10、c11)
⑳ 后轴承内孔与轴间	/gb	/m6
㉑ 后轴承外圈与端盖轴孔间	Gd/	J7/
㉒ 外轴套与轴间	D/je	H7/r6(或 s6)
㉓ 后轴承外盖内孔与轴承外圈	Do/dd6 或 de6	H11/b11
㉔ 甩油盘与轴承盖相配合处	D6/dd6(或 de6)	H11/b11
㉕ 后轴承外盖止口与端盖轴承室间	d4	(h8 或 h9)
㉖ 后端盖与齿轮罩相配的凸缘止口	d4(或 dc)	h8、h9(或 f7)
㉗ 后端盖和机座配合止口	D/gc 或 gb	H7/K6 或 m6
㉘ 后端盖轴承室深度	−0.1	−0.1
㉙ 后端盖轴承室底平面到机座端面间长度	±0.1	±0.1
㉚ 机座配合总长	d6	h11
㉛ 电枢前压圈外平面到换向器升高片间距离	±0.5	±0.5

附表 2-5　牵引电动机工序间介电强度试验电压值(V)

序号	试验部件工序及内容	试验电压计算公式		绝缘介电强度试验电压				试验时间/s
		$U \leqslant 600$	$U > 600$	$U=250$	$U=550$	$U=750$	$U=1500$	
一、	换向器							
	1) 片间			220	220	220	220	2
	2) 换向器制成后	$2.5U+3000$	$2.5U+5000$	3625	4375	6690	8375	60
	3) 换向器压入轴后	$2.5U+2200$	$2.5U+4000$	2825	3575	5690	7375	60
二、	V 形环							
	1) 厚度 1~1.2mm			5500	5500	5500	—	60
	2) >1.2~1.5mm			6500	6500	6500	—	60
	3) 2mm			8000	8000	8000	8000	60
	4) 2.5~3mm			11000	11000	11000	11000	60
三、	1) 钢丝箍对换向器			1000	1000			60
	2) 钢丝箍对铁心			1000	1000			60
四、	绕组制成后							
	1) 电枢线圈制成后	$2.5U+2500$	$2.25U+4500$	3125	3875	6190	7875	60
	2) 磁极线圈制成后	$2.5U+2500$	$2.25U+4500$	3125	3875	6190	7875	60
	3) 磁极线圈装入铁心后(浸漆前)	$2.5U+2200$	$2.25U+4000$	2825	3575	5690	7375	60
	4) 电枢线圈匝间			220	220	220	220	2
	5) 磁极线圈匝间	应大于线圈在标准工作温度电压降的 20 倍						
五、	绕组连接或嵌线后							
	1) 电枢嵌线并头和磁极装入定子后	$2.5U+1900$	$2.25U+3500$	2525	3275	5190	6875	60
	2) 电枢焊头或定子连线后	$2.5U+1700$	$2.25U+3000$	2325	3075	4690	6375	60
	3) 电枢绑扎后	$2.5U+1500$	$2.25U+2500$	2125	2875	4190	5890	60
六、	整台牵引电机(热态下)	$2U+1000$	$2.25U+2000$	1500	2100	3690	5375	60
七、	电枢并头焊接后的匝间试验	中频 2500~8000Hz 维持时间 15~20s 相邻片间电压为设计最大值的 1.3 倍至少 50V						

参 考 文 献

[1] 机械工程手册电机工程手册编辑委员会. 电机工程手册:第 33 篇[M]. 北京:机械工业出版社,1996.

[2] 西南交通大学电机系. 牵引电机[M]. 北京:中国铁道出版社,1981.

[3] 顾永辉,等. 煤矿电工手册:第一分册电动机[M]. 北京:煤炭工业出版社,1980.

第三章　直流电动机和牵引用直流电动机试验

第一节　直流电动机试验

一台直流电机一般既可以作电动机使用，又可以作发电机使用。所以直流发电机和直流电动机的很多试验项目及实际操作方法都是相同的。本节将根据修理行业的需要和实际情况，介绍直流电机重要部件及整机特有的或具有特殊要求的检查与试验内容。

一、电动机电枢及磁极绕组的检查

（一）测量各绕组的直流电阻

对磁极绕组，可测量各极的直流电阻，也可测量整台电机接线后，两励磁线端的直流电阻。测量时，应将励磁绕组与其他绕组的连线断开，例如并励式电机，可拆下电刷，使励磁绕组与电枢及换向极绕组断开。

对电枢绕组，则应根据绕组型式的不同，而采用不同的测点来测量。具体方法见表 3-1。表中同时给出了一些故障现象。

表 3-1　直流电动机电枢绕组直流电阻测量方法及分析

绕组型式	测量方法及故障分析
叠绕组	在两片相邻换向片之间测量
波绕组	在对应绕组全节距的两片换向片之间测量。换向片之间的距离约等于 2 倍极距，其间测得电阻最小，但 4 极电机相邻 2 换向片之间与位子换向器直径两端的 2 换向片之间测得的电阻相等
单叠绕组（无均压线）或极对数为奇数的一次闭路绕组	通过位于一直径两端的 2 换向片，对电枢绕组馈入电流，用毫伏表和探针测量每一对相应换向片之间的各个元件的压降
均压线	在（片距 = 全部换向片 + 极对数）两换向片之间测量电阻。对全均压线，则测得的电阻相同。若测得的电阻值明显地大于平均值，说明存在焊接不良或断路。对于非完全均压线，则可测得的电阻将在某一最小值和最大值之间有规律地交替变化
蛙绕组	单蛙绕组在相隔一个极距的两个换向片上测量； 双蛙绕组在相邻的两换向片上测量； 三蛙绕组在相隔一个极距的两换向片上的测量。 如 K/zp 不是整数时，应加修正值 ± m/2。 电枢绕组的直流电阻 R_a（Ω）为 $R_a = \dfrac{R}{\left(\dfrac{a}{K}+1\right)m^2}$ 式中　R——测得的电阻值，Ω； K——换向片数； m——绕组的重路数； a——蛙绕组的电阻系数，磁极数为 4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24 时分别为 8、27.71、61.25、110.11、175.43、258.13、359.02、478.77、617.98、777.21、956.92。

电机在装配后进行测量时，应提起电刷。对于装配好的电机，采用升高电压或带负载旋转，可明显地发现断路或短路故障。

所测电阻值偏大，说明绕组与换向片焊接不良或有断路；反之，说明绕组有短路现象。

若所测电阻值沿换向器圆周呈现规律性的周期性变化，说明各个元件不完全相同，这不是短路或断路故障。

（二）测量换向片间压降检查电枢质量

在换向器相邻换向片或相隔接近一个极距的两换向片上接入低压直流电源，用直流毫伏表测量相邻两换向片间的压降，如图 3-1 所示。

在正常情况下，测得的片间压降一般应该相等，或其中最大和最小值与平均值的偏差不大于 ±5%。若片间压降显著降低，说明线圈短路；若片间压降为零或甚微，说明片间直接短路；若片间压降显著增加，说明电枢绕圈断路或焊接不良。若片间压降的大小呈规律变化，如上所述，这是由于不同的绕组型式造成的，不是故障。此方法与测量片间电阻法本质上是一样的。

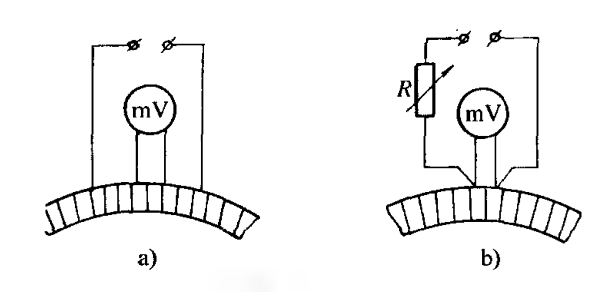
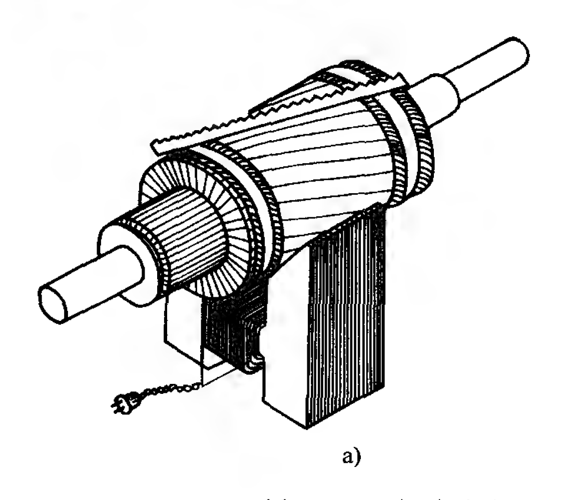


图 3-1 测量换向片间压降接线图
a）电源接入相隔接近一个极距的两换向片上（适于中小型直流电机） b）电源接入相邻两换向片上（适于大型直流电机）

（三）用专用测量仪器和工具检查电枢质量

1. 短路侦察器及使用方法

此法可用于检查具有均压线的电枢绕组有无短路或断路，检查方式如图 3-2 所示。



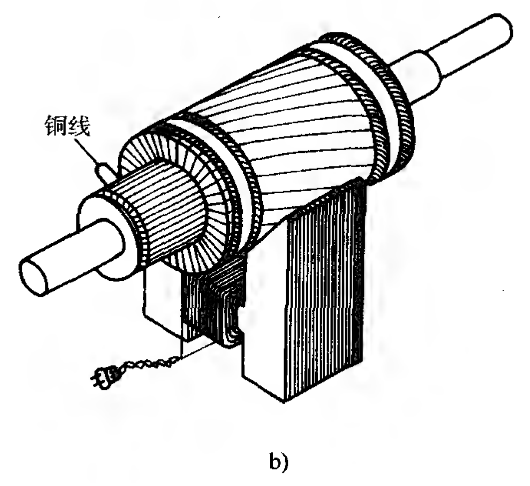


图 3-2 用短路侦察器检查电枢有无短路或断路
a）检查短路 b）检查断路

检查时，将电枢放在侦察器上，通电后，拿一锯条放在电枢的顶槽上面，如图 3-2a 所示。若槽中有线圈短路，则锯条很快地振动而发声；若静止不动，则说明线圈无短路。叠绕组和 2 极波绕组中的短路线圈，会使锯条在两个槽上面振动。如果振动不只发生在两个槽上，就可能有一个以上的线圈短路。在 4、6 极波绕组中，假如在两邻近换向片间有短路，锯条可以有 4、6 处振动。

在检查时，转动电枢，逐一检验邻近的换向片，可用毫伏表或用一根铜丝跨接顶部邻近两块换向片，若毫伏表没有读数指示或铜线在接触中没有火花，则表示有线圈开路。

2. 测量换向片片间电阻的简易工具

用直流伏-安法测量换向器片间电阻时，测量时必须先接触电流探针，待电流稳定后再接触电压探

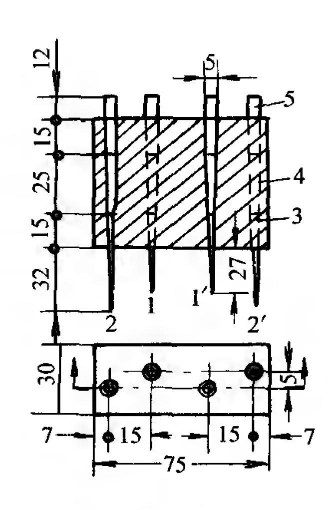


图 3-3 测量换向片间电阻的简易工具——探针
1－1′—电压探针 2－2′—电流探针

针。断开时，按正好相反的程序进行。现制成的专用工具如图 3-3 所示。四支探针同装在一块层压板上，并都装置弹簧。由于电压探针短 5mm，保证测量能按上述要求进行。

（四）检查绕组极性及连接

1. 直流电机各绕组的线端标志号及连接方式

在国家标准中，对直流电机各绕组出线端的标志号给出了统一的规定。因该标准在不同的时期其规定的标志有所差别，所以在维修时还应按电机的实际接线情况进行一次核对。表 3-2 给出了国家标准中规定的直流电机绕组出线端标志号，供修理检查时参考。表 3-3 给出了各种不同励磁方式各绕组的相互连接图，其中线端标志为现行标准。

表 3-2　直流电机各绕组两出线端标志号

绕组名称	1965 年以前		1965～1980 年		1980 年以后	
	始端	末端	始端	末端	始端	末端
电枢	S1	S2	S1	S2	A1	A2
换向	H1	H2	H1	H2	B1	B2
补偿	B1	B2	BC1	BC2	C1	C2
串励	C1	C2	C1	C2	D1	D2
并励	F1	F2	B1	B2	E1	E2
他励	W1	W2	T1	T2	F1	F2

表 3-3　直流电动机接线图

励磁方式			不带换向极	带换向极	带换向极及补偿绕组
永　磁			S_1 (+)　S_2 (−)	S_2 H_2 H_1 BC_1 T_1 S_1 BC_2 T_2 (+) (+) (−) (−)	—
他　励			T_1 S_1 S_2 T_2 (+) (+) (−) (−)	B_1 B_2 S_2 BC_1 H_1 H_2 S_1 (+) BC_2 (−)	H_1 H_2 S_2 C_1 B_1 (+) S_1 (+) B_2 (−) C_2 (−)
并　励			B_1 B_2 S_1 (+) S_2 (−)	C_1 S_2 B_1 (+) S_1 (+) B_2 (−) C_2 (−)	S_2 C_1 H_1 H_2 S_1 (+) C_2 (−)
复励	平复励	长复励	S_2 H_1 S_1 (+) H_2 (−)	C_1 S_2 B_1 (+) S_1 (+) B_2 (−) C_2 (−)	H_1 H_2 C_1 S_2 BC_1 BC_2 B_1 (+) S_1 (+) B_2 (−) C_2 (−)
	平复励	短复励	S_2 H_1 T_1 S_1 H_2 T_2 (+) (+) (−) (−)	S_2 C_1 S_1 (+) C_2 (−)	H_1 H_2 C_1 S_2 BC_1 BC_2 B_1 (+) S_1 (+) B_2 (−) C_2 (−)

（续）

励磁方式	不带换向极	带换向极	带换向极及补偿绕组
串　　励	B_1 B_2 S_2 H_1 S_1(+) H_2(−)	H_1 H_2 S_2 C_1 B_1(+) B_2(−) S_1(+) C_2(−)	—

2．检查整个绕组相互间以及与接线板连接是否正确

1）电枢绕组始端（A1）所在的那一磁极的电刷应与网路的正导线连接。

2）在鼓形绕组电枢中，电刷的极性由主极极性来确定，见表 3-4。

表 3-4　确定电刷极性表

绕组型式	绕组行进名称	磁极极性 N	磁极极性 S
叠绕组	顺行	+	−
	逆行	−	+
波绕组	顺行	−	+
	逆行	+	−

注：正常采用的是顺行叠绕，逆行波绕。

3）沿电动机旋转方向从一个极转至另一个极时，每一主极后面是同样极性的换向极。

4）换向极绕组出线端之一与电刷架接死。

5）串联回路各个绕组的线圈不互相交错；每一绕组的所有线圈先自相连接，然后再进行整个绕组之间的连接。但补偿绕组的每一线圈与由它所包围的换向极线圈串联。

3．用试验方法进行检查

（1）串励和并励线圈极性的测定　可按照图 3-4 的接线。虽然接通开关 S，若毫安表向正向摆动，则 D1、E1 的极性相同。

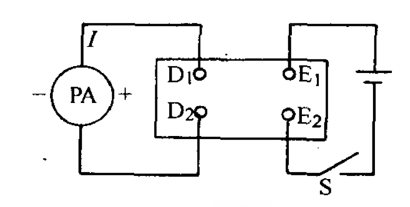


图 3-4　串励和并励线圈极性测定接线图

PA—毫安表　D_1、D_2—串励绕组接线端

E_1、E_2—并励绕组接线端

（2）检查换向极绕组的极性　如图 3-5 所示接线。突然合上开关 S，若毫安表作正向偏转，同电枢和换向极的接线为同极性。若 S 合上时，毫安表就有稳定的读数而不瞬时偏转，说明电池和毫安表接线错了。

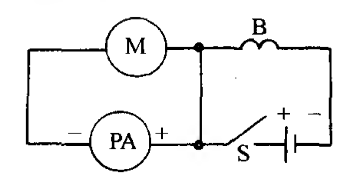


图 3-5　换向极绕组检查

M—电枢　B—换向极绕组　PA—毫安表

（3）检查并励绕组的极性　如图 3-6 所示接线，合上开关 S，若电刷在几何中性线上，电压表读数很小，而电刷移放在磁极中心线上时，读数最大时，说明并励绕组接线正确。若接线错误，则电刷在两个位置上读数都很小，且几乎一样。

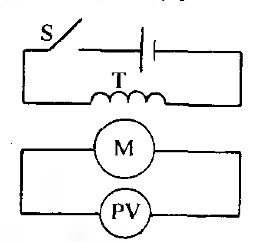


图 3-6　确定并励绕组方法

M—电枢　PV—电压表　F—并励绕组

（五）磁极极性的检查

1．磁针法

在磁极线圈内通入直流电，用磁针检查各磁极极性，或在相邻二个磁极极靴之间放两个短铁棒，如相邻磁极的极性相反，则两根铁棒相互吸引，反之相互排斥。

2．试验线圈法

用纤细的漆包线绕成平面同心式线圈，平贴在薄纸板上，放在非磁性物质制成的外壳中，线圈的出线端接毫伏表。

检查时，可以用以下两种方法进行：

1）线圈贴附在磁极表面，然后迅速从表面拉下，注视毫伏表的偏转方向；

2）线圈贴附在磁极表面，切断励磁绕组的馈电，注视毫伏表的偏转方向。

若在每两个相邻的磁极下面仪表的偏转方向不同，则励磁绕组的接线是正确的。方法 2）建议优先采用。

二、换向系统的检查

直流电机的换向系统包括：电刷支架、电刷、电刷压簧、刷握（刷盒）、换向器（整流子、俗称“铜头”）等。它们是直流电机电能输入（电动机）和电能输出（发电机）的交换站和变换站，其作用相当重要。

从其外观来看，该系统并不复杂，但却很容易发生故障并对电机的运行产生很大影响。所以，对修理后的直流电机，应仔细检查它的各部分，对查出的不合理项目进行修理或调整。下面介绍其主要项目的检查方法及有关要求。

1. 电刷弹簧压力的检查

在电刷下事先压垫一纸片。用弹簧秤在电刷提起方向勾起电刷压指，用手拉纸片。当该纸片能被轻轻拉出时，弹簧秤的读数就是电刷弹簧的压力，如图 3-7 所示。

电刷弹簧压力一般应保持在 16 ~ 24kPa 范围内。$1\text{Pa} \approx 1\text{N/m}^2 = 1\times10^{-6}\text{N/mm}^2$。Pa 是压强的单位，而不是压力的单位，所以此处所说压力是不准确的，只能理解为是习惯说法。实际弹簧压力的标准，应该用电刷与换向器表面接触面面积及要求的压强值求得。例如电刷接触面积为 600mm^2，要求压强为 16 ~ 24kPa，则弹簧压力应在 $16\text{kPa}\times600\text{mm}^2 = (16\times10^{-6}\text{kN/mm}^2)\times600\text{mm}^2 = 0.0096\text{kN}$ 至 $24\text{kPa}\times600\text{mm}^2 = (24\times10^{-6}\text{kN/mm}^2)\times600\text{mm}^2 = 0.0144\text{kN}$ 之内。

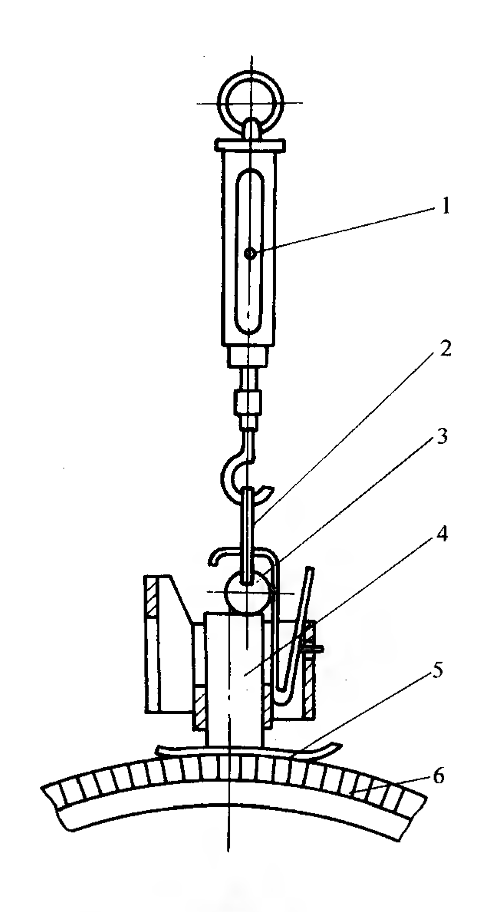


图 3-7 电刷弹簧压力测定示意图
1—弹簧秤 2—钢丝圈 3—恒压弹簧
4—电刷 5—纸片 6—换向器

另外，各电刷所受压力应基本相同，相差不应超过 ±10%。

2. 刷握间隙检查

电刷与刷握四壁应保持适量的间隙。可用塞尺插入间隙中进行测量。合理间隙标准及电刷、刷握内截面尺寸标准见表 3-5。

3. 检查刷握至换向器表面的距离

用直板尺或塞规检查刷握下口至换向器表面的距离。该距离应在 2.5 ±0.5mm 之内。

表 3-5 电刷、刷握内截面尺寸及电刷与刷握间隙标准 （mm）

分类	项目	电刷容差	刷握容差	合理间隙
厚度 8mm 以下电刷	厚度	-0.02 ~ 0.07	+0.10 ~ 0	0.17 ~ 0.02
	宽度	-0.05 ~ -0.15		0.25 ~ 0.05
一般电动机	厚度	-0.05 ~ -0.20		0.30 ~ 0.05
	宽度	-0.15 ~ -0.35		0.45 ~ 0.15
可逆电动机	厚度	-0.05 ~ -0.10		0.20 ~ 0.05
	宽度	-0.10 ~ -0.30		0.40 ~ 0.10
分块电刷	厚度	-0.10 ~ -0.30		0.25 ~ 0.10
	宽度	-0.10 ~ -0.30		0.40 ~ 0.10

4. 对换向器表面的检查

换向器表面应光滑，片间云母应低于外表面。

5. 对电刷支架的检查

整套电刷支架应安装稳固，各电刷刷握在支架上的位置应对应相同，并安装牢固。刷距允许误差通常为 ±0.5mm。

三、电刷中性线的测定与调整

电刷必须处在中性线上，否则会产生火花加大，正、反向转速偏差超标、电机过热、效率下降等多项不利影响。因此必须通过测定和调整，使其达到要求。

测定电刷是否处于中性线位置的方法有多种，现介绍适用于电机修理行业的较简单易行的几种。

1. 感应法

1）将电动机电枢静止，励磁绕组通过开关 S 接在直流电源上。将毫伏表（采用中心零位的双向型表）接在相邻的两级电刷上。使 S 断续接通电源，毫伏表的指针将左右偏转。移动电刷架位置，直到毫伏表不再向两边偏转为止。此时电刷位置即为中性线位置。试验接线如图 3-8 所示。

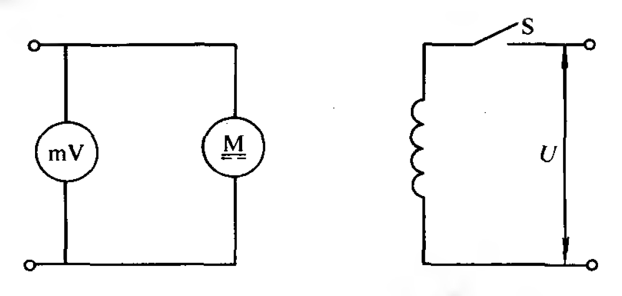


图 3-8 感应法测定中性线位置接线图

用来供给励磁绕组的直流电源，其电压只要使励磁绕组的电流为额定转速空载励磁电流的 5% ~10% 即可。一般可用 3 ~6V 干电池。

2）电枢静止，励磁绕组他励，交替地接通和断开电机的励磁电流，在距离等于或最接近于一极距的两片换向片上测量感应电动势，沿换向器圆周移动，正负感应电动势各量取几点读数如换向片 1 -21、2 -22、3 -23、4 -24 等，然后按图 3-9 所示的作图法求出中性线位置。

2. 正反转发电机法

试验时，电机励磁绕组他励，在保持转速、励磁电流及负载（接近额定值）不变的情况下，逐步移动刷架位置，在每一个不同位置上测量电机在正转及反转时的电枢电压，直到两个电压数值最接近时为止，此时即可认为电刷位于中性线上。

3. 正反转电动机法

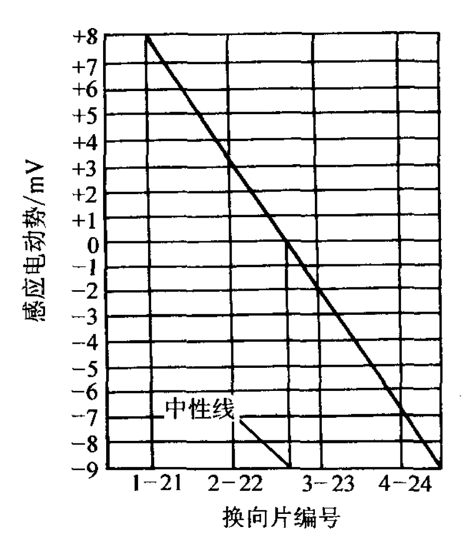


图 3-9 中性线作图法

试验时，在保持电机电枢电压、励磁电流及负载（接近额定值）不变的情况下，逐渐移动刷架位置，在每一个不同位置上测量电机在正转及反转时的转速，直到两个方向的转速最接近时为止，此时即可认为电刷位于中性线上。

4. 最大电压法

将电机作为发电机空载运转。在转速和励磁一定的条件下，将直流电压表或万用表接在电刷端，移动电刷架位置，当电压表的电压值为最大时，则电刷在中性面位置上。

5. 等速法

在电源电压恒定、电动机的中性面又在准确位置时，若将电动机空载运转，它的正反向转速应该是一样的。假使电刷不处在中性面时，则所测正反向转速就不相等。

四、空 转 检 查

电动机在空载试验之前，均应空载一段时间，以检查电动机运行是否正常。

1. 直流电动机的起动

（1）并励和复励电动机的起动　并励及复励电动机起动时，应防止电枢电流过大，起动时间过长。为此，起动时可在电枢回路接入适当的可变电阻（起动器）。可变电阻的选择，一般应使起动电流限制在 2 ~2.5 倍额定电流范围内。此外，应使励磁调节电阻为零，使励磁绕组直接加上额定电压进行起动，以增大起动转矩，缩短起动时间。因此图 3-10a 接线错误，图 3-10b 接线正确。

起动变阻器分三端式和四端式两种，其接线分别如图 3-11 和图 3-12 所示。

图 3-12 中：F 点通过磁场电阻器 R_f 接到并励线圈 C 上，A 点接到电枢上，L_1 点接到开关的正端。起

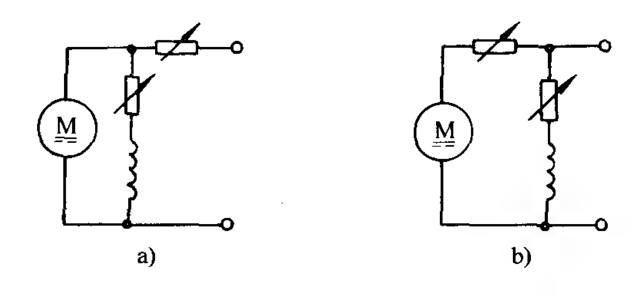


图 3-10　并励电动机的起动电阻器接线图
a）错误接线　b）正确接线

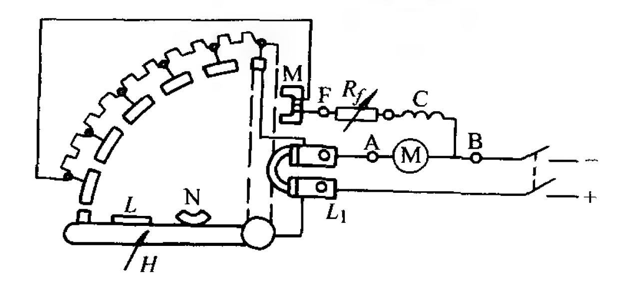


图 3-11　三端式起动变阻器接线图
H—手柄　C—励磁绕组　M—直流电动机

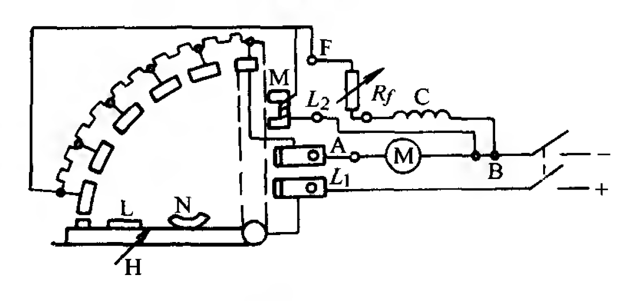


图 3-12　四端式起动变阻器接线图
H—手柄　C—励磁绕组　M—直流电动机

动时将手柄按右旋转方向依次移动，最初在电枢回路中接入最大电阻使其起动，然后逐渐减少电阻，最终到达虚线的位置，电阻为零。起动前，应将磁场电阻器 R_f 调节到零。在手柄移至 1 档时，R_f 仍为零。当电动机完全起动后，再调节 R_f（增大），使电动机的转速等于额定转速。图中 L 为铁片，M 为吸铁。当手柄至 1 挡时，M 吸住 L，使手柄停在 1 挡。当开关断开或运行中停电时，M 失磁，吸力消失，手柄因弹簧力而返回最初位置。

图 3-12 和图 3-13 不同之处是 L_2 端连接至吸铁 M 上。因此即使完全接上起动变阻器，且使磁场电阻为零时，电动机的转速也远远低于额定转速。为使速度上升，可逐渐增加磁场调节电阻，减少励磁电流。

若无起动变阻器，则应降低电枢电压起动，但因励磁电压也随之降低，使得起动时间长，这是一种不得已的起动方法。

对于他励电动机，起动时，并励绕组施加额定电压，磁场电阻器调节至零值，在电枢上施加适当低的电压起动即可。完全起动后，调节电枢电压至额定值，再调节磁场电阻器，使电动机转速等于额定转速。

对于复励电动机的起动与并励电动机的起动相同，但注意差复励的情况，若作为他励通入励磁电流起动，没有问题。若把并励和串励同时进行励磁时，前者比后者的自感大，在接通电源的瞬间，仅仅是串励起作用，结果使电动机反转。

（2）串励电动机的起动　串励电动机的起动也要在电枢回路中接入起动变阻器来限制起动电流，但串励电动机必须带有一定的负载起动。因为串励电动机的负载即为励磁电流，若在空载或轻载起动，因电流小，则电动机的转速有增至非常高即“飞车”的危险。通常串励电动机应带 30% ~40% 的额定负载起动。如果缺乏必要的负载，则应将这种电动机他励。

2. 空载检查

将电动机空载，空转检查时间，一般不小于 30 ~60min。电动机空转时，应检查轴承运转是否平稳、轻快、无停滞现象，声音应均匀而不夹杂有害的杂音。滑动轴承应无漏油及温度过高等不正常现象。空载检查结束时，电动机两端轴承的温度彼此不应有明显的差别，对于滚动轴承的温度不应超过 70°，对于滑动轴承的温度不应超过 60°C，轴承润滑脂的温度不应超过 50°C。

五、空 载 试 验

该试验的目的，是在额定转速下测定空载损耗，并从中分离出铁耗和机械耗。

1. 并励及复励电动机的空载试验

试验前，应将电动机空载运转一段时间，使电机的轴承及电刷摩擦损耗达稳定值。试验时，电动机他励，并且接在电压可调的直流电源上，其接线如图 3-13 所示。

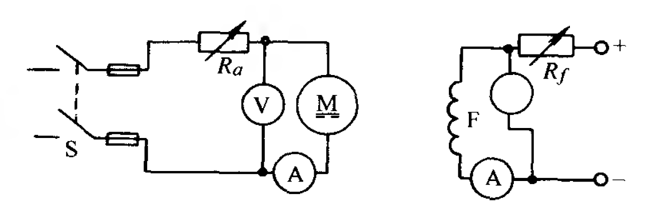


图 3-13　并励及复励电动机空载试验线路
M—电动机　F—励磁绕组　R_a—电枢回路可变电阻　R_f—磁场变阻器
V—电压表　A—电流表

但是有时只有一个电源，且电压不可调，则如图 3-13 所示，应在电枢回路和励磁回路中分别串入可变电阻 R_a 和 R_f，而且要求电源电压为额定电压的 125%。R_a 的最大阻值可将电枢外施电压降至额定电

压的30%。

试验时，调节电源电压或调节 R_a，将外施电压自125%额定电压开始，逐步降低到可能达到的最低值。在每一电压下，量取电枢电压 U_0、电枢电流 I_a 及励磁电流 I_f。在每一测点上，应调节 R_f，使电动机的转速保持额定。这样测取9~11点。试验后，应立即测量电枢回路各部分的电阻。试验数据记录及计算格式见表3-6。

$$P_{sh}=2e_bI_0$$

式中 $2e_b$——电刷压降：对于碳-石墨。石墨及电化石墨电刷为2V；对于金属石墨电刷为0.6V。

为了将铁耗与机械耗分开，应绘制铁耗与机械耗之和，对于电枢电压平方的曲线，并将其延长至与纵轴相交，交点的纵坐标即为机械损耗，如图3-14所示。

表3-6 直流并励及复励电动机试验数据表

项目	单位	数据
U_0	V	
I_0	A	
U_f	V	
I_f	A	
$P_0=I_0U_0$	W	
r_1、r_2、r_3	Ω	
$P_{w0}=I_0^2\ (r_1+r_2+r_3)$	W	
$P_{Fe}+P_j=P_0-P_{Cu0}-P_{sh}$	W	

注：1. r_1、r_2、r_3——分别为电枢绕组、换向极绕组和串励绕组的电阻。
2. P_{Fe}——铁耗。
3. P_j——机械耗。

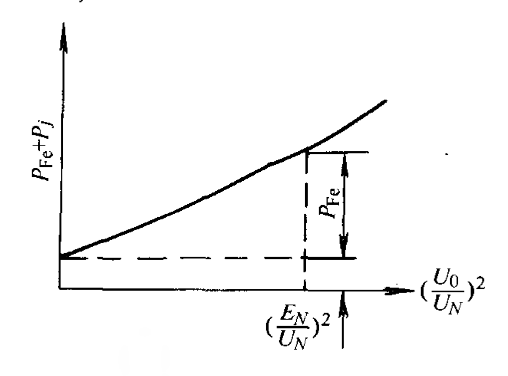


图3-14 并励电动机的空载损耗曲线
U_N—额定电压 E_N—感应电动势

被试电动机的铁耗应按相应的感应电动势 E 求得

$$E=U_N-I_a\ (r_1'+r_2'+r_3')$$

式中 I_a——额定电枢电流，A；

r_1'、r_2'、r_3'——分别为换算到基准工作温度的电枢绕组、换向极绕组及串励绕组电阻，Ω。

2. 串励电动机的空载试验

试验时，将串励改为他励，接线如图3-15所示。

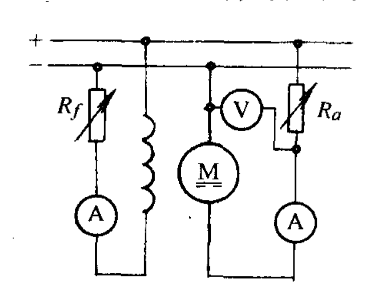


图3-15 串励电动机的空载试验接线图

改接后，所加入的励磁电流，其最小值须能得到2倍额定转速，而最大值为2倍额定电流。因此，可能的话，希望能任意改变励磁电压。若无可变电源电压，则在励磁回路和电枢回路中分别串入变阻器。试验时，首先将励磁电流保持在最大值 I_{f1} 上，同时，尽可能在广范围内改变施加于电枢的电压，测定不同电压时的转速 n 和输入功率 P_0（即测定 U_0 和 I_0，$P_0=U_0I_0$）。然后降低励磁电流，使之为 I_{f2}、I_{f3}、I_{f4}，且 $I_{f1}>I_{f2}>I_{f3}>I_{f4}$。在每一励磁电流下，改变电压，测取不同电枢电压下的转速和输入功率。从各个输入功率中减去相应的电枢铜耗 P_{Cu0} 和电刷损耗 P_{sh}，即为铁耗和机械耗之和（$P_{Fe}+P_j=P_0-P_{Cu0}-P_{sh}$）。把它用曲线表示，如图3-16所示。

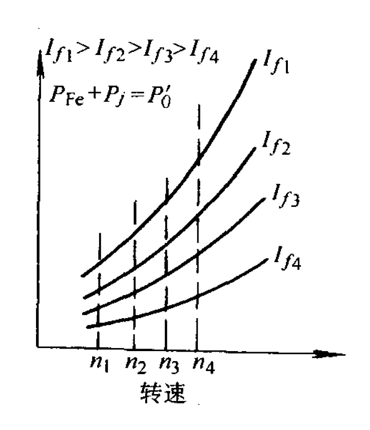


图3-16 励磁电流不变时串励电动机空载损耗曲线
（I_{f1}、I_{f2}、I_{f3}、I_{f4}恒定不变）

由图3-16所示的曲线可求出每一给定转速 n_1、n_2、n_3 和 n_4 的励磁电流和损耗之间的关系曲线，如图3-17第2象限所示。图3-17第3象限是串励电动

机的速度特性曲线。首先于速度特性曲线上求出转速为 n_1 时的 I'_{f1}，决定相应的损耗 P'_{01}。同样求出 n_2、I'_{f2}、P'_{02}，n_3、I'_{f3}、P'_{03} 和 n_4、I'_{f4}、P'_{04}，作曲线，如图3-17第一象限曲线所示。为了分离铁耗与机械耗，把第2象限各曲线延长与纵坐标相交，交点对应的纵坐标，即为各转速的机械耗。由此作曲线如第1象限曲线2所示。曲线1与曲线2之间的纵坐标差值，即为各转速下对应的铁耗。

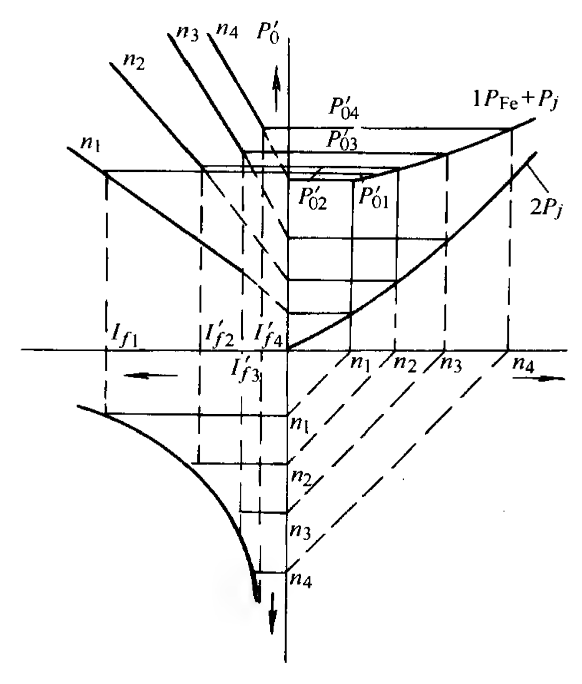


图 3-17　电动机特性作图法

六、温 升 试 验

(一) 试验线路

直流电动机温升试验时，其所带负载一般为同规格的直流电机（以发电机方式运行）；而直流发电机在温升试验时，则由同规格的直流电机（以电动机方式运行）作为输入动力。

作为负载的直流发电机所发出的直流电可用电阻直接消耗掉调节外接电阻或输出电压，可达到调节直流电动机负载的目的。这种方法投资少，但耗能多。为了减少试验所耗电能，可采用如下所示的"回馈法"。

1. 并联回馈法

并联回馈法接线图如图3-18所示。试验时，首先起动被试电动机并调节至额定转速。再调节发电机的电压，使与电源电压相等，极性一致。合上开关S，使M与G并联。调节G的励磁和电源电压，使被试电动机的电流、电压、转速等达到额定值。为保证稳定运行，可将励磁电源接成差复励，其串励绕组与被试电动机的电枢回路串联，也可采用发电机差复励，移刷等措施。

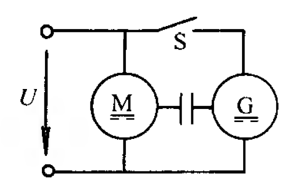


图 3-18　并励回馈法接线图
M—电动机　G—发电机　S—开关

2. 带升压电机并联回馈法

带升压电机并联回馈法接线图见图3-19。首先起动被试电动机并调节至额定转速，起动升压机SY的原动机。调节发电机G和升压机SY的励磁，使两者电压相加，并与电源电压相等，极性一致。闭合开关S，使M与G并联。调节SY的励磁和电源电压，使被试电动机的电流、电压、转速等达到额定值。

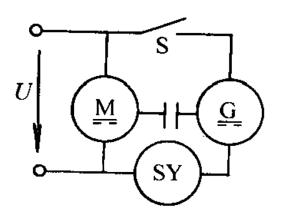


图 3-19　带升压电机并励回馈接线图
M—直流电动机　G—直流发电机
SY—升压机　S—开关

3. 辅助电动机法

辅助电动机法接线图如图3-20所示。起动辅助电动机，并调节至被试电机铭牌上规定的额定转速。调节M、G的励磁，使两者的电压相等，极性一致。闭合开关S，使M与G并联。调节两台电机励磁，使被试电机的电流、电压等达到额定值。

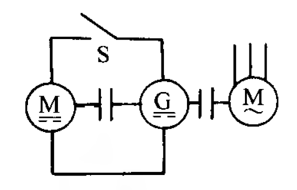


图 3-20　辅助电动机法接线图

4. 带升压电机串联回馈法

带升压电机串联回馈接线图如图3-21所示。试验时，M和G的励磁绕组极性应保证电枢通电后，两台电机转矩相反。起动升压机的原动机，调节升压机的端电压，并降低G的励磁，使被试电动机M调节到额定状态。此法主要用于串励电动机的回馈试验。

(二) 温升测量方法

1. 电枢绕组直流电阻（冷、热）的测量

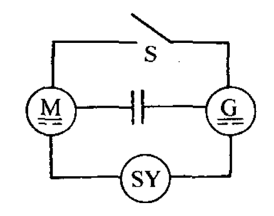


图 3-21　带升压电机串联回馈接线图

在测量电枢绕组的冷电阻时，应记下所接的两片换向片（可在无电刷接触的部位用笔作记号或用钢冲出小坑）。在测量温升后的热电阻时，还应接上述的两换向片的位置上。

2. 主极绕组直流电阻及其他绕组直流电阻的测量

主极绕组和串励绕组、换向绕组等其他绕组冷热直流电阻的测量应分别进行。

测量时，应分别接一个电阻测量仪表，并应交替测量。

3. 换向器表面温度的测量

在温升试验停机后，应尽快用点温计测量换向器表面的温度。

七、直流电动机的额定负载试验

该试验是当电动机在额定电流、额定电压、额定励磁电流或额定励磁电压下（对不带磁场变阻器的并励电极）校核转速，同时检查换向器及其他有无不正常情况。在型式试验中，该试验应在电机额定运行至各部分的温度达到实际稳定状态时进行。在检查试验中，电机额定运行的持续时间由该类型电机的技术条件规定。如 Z2 系列规定：电机额定功率 ≤ 100kW，最少运行 1h；大于 100kW，最少运行 2h。

试验时，应测定电枢电压、电枢电流、励磁电流及转速。

变速电动机的额定负载试验，应在最低额定转速和最高额定转速下进行。

八、直流电动机效率的测定

对于小型直流电动机，效率可用实测输入、输出功率直接测定。输出的机械功率，可用制动器、测功机、数字式转矩、转速测量仪或校正过的直流发电机测定；其输入的电功率，可用电工仪表测定，

此外，还可用回馈法和损耗分析法测定效率。回馈法详见 GB/T1311—1989 的规定。下面介绍用得最多的损耗分析法。

将被试电动机由空载至 125% 额定负载的范围内，每隔 25% 额定负载读取电动机的端电压 U_D、负载电流 I_D、励磁电压 U_f 和励磁电流 I_f。然后按表 3-7 计算效率（表中数值为一个示例）。

表 3-7　计算效率公式

负载%(25~125)%	100
端电压 U_D　/V	100
负载电流 I_D　/A	87.0
并励励磁电压 U_f　/V	100
并励励磁电流 I_f　/A	0.86
电枢电流 $I_a=I_D-I_f$　/A	86.14
电刷压降 $2e_b$	2
电枢及和其串联的电阻引起的电压降 $I_a(r+r_1+r_2)$　/V	6.60
加于电枢的电压 $U_a=U_D-I_a(r+r_1+r_2)$	93.4
损耗　/W	
电枢铜耗 I_a^2r	376.2
换向极及串励绕组引起的铜耗 $I_a^2(r_1+r_2)$	193
并激励磁损耗 U_fI_f	86
电刷损耗 $2e_bI_a$	172.3
机械损耗 P_j	250
对应 U_a 的铁耗 P_{Fe}	118
杂散损耗 P_z	75
总损耗 $\Sigma P=I_a^2r+I_a^2(r_1+r_2)+U_fI_f+2e_bI_a+P_j+P_{Fe}+P_z$	1271
输入功率 $P_1=U_DI_D$	8700
输出功率 $P_2=P_1-\Sigma P$	7429
效率 $\eta=(P_2/P_1)\times100\%$	85.4

注　1. e_b 为一个电刷的压降，对于碳-石墨、石墨及电化石墨电刷，$e_b=1V$；对于金属石墨电刷，$e_b=0.3V$。

2. r_1、r_2、r_3 为换算到基准工作温度的电枢绕组电阻、串励励磁绕组电阻和换向极绕组电阻。

九、换向器及电刷间火花的检查

直流电动机在运行时，由于换向不良等原因，会在电刷与换向器表面间出现电弧放电现象，简称换向火花。

轻微的换向火花释放能量微弱，不会构成对电机运行的危害，称为无害火花。较强的换向火花则会烧伤电刷和换向器表面的氧化膜，使两者磨损增加，并形成恶性循环。更严重时，会因电弧飞越而导致环火事故，对电机造成较大的损耗，甚至于不能正常工作，这些火花则称为有害火花。

在电机加满载运行、短时过载、起动或变换转向过程中，目测换向火花的具体情况。

直流电机换向火花的大小分为 5 个等级（见表 3-

8)。电机正常运行时应不大于1½级；短时过载、起动或变换转向过程中可允许达到2级；如出现3级火花，则应立即停机进行检查和修理。

表 3-8 直流电机换向火花等级及制定标准

火花等级	火花特征	换向器及电刷状态
1	无火花	换向器无黑痕，电刷上无灼痕
$1\frac{1}{4}$	电刷边缘仅小部分有微弱点状火花，或有非放电性的红色小火花	
$1\frac{1}{2}$	电刷边缘大部分或全部有轻微火花	换向器上有黑痕，但不发展，可用汽油擦掉；电刷上有轻微灼痕
2	电刷边缘大部分或全部有较强烈火花	换向器上用汽油不能擦除的黑痕；电刷上有灼痕
3	电刷全部边缘有强烈火花，并有大量火花飞出	换向器上黑痕严重，不能擦除。在此火花下短时运行即会使换向器出现灼痕，使电刷灼焦损坏

十、直流电动机转速变化率的测定

被试电机应额定运行至各部分温度接近正常工作温度，保持额定电压；对于他励或并励电机，保持额定励磁电流不变；对于复励电机，应保持励磁调节不变。逐步减小及增加负载电流，反复进行若干次，直到额定电流下转速相近为止。然后按下列方法之一进行。

1）由额定负载电流开始，逐步减少到空载（对不允许空载的电动机减少到1/4额定电流），然后逐步增加负载电流到所需的过载值，每隔约25%额定电流读一次读数。

2）由额定负载电流开始，逐步增加到所需的过载值。然后逐步减少到空载（对不允许空载的电动机，减少到1/4额定电流），每隔约25%额定电流读一次读数。

在试验过程中，若在额定电流时的转速读数有显著差异时，应重新进行试验。

试验时应同时读取转速、负载电流、励磁电流和电枢电压的数值。并应绘制转速对于负载电流的关系曲线。

在检查试验中，允许只在满载和空载（对不允许空载的电动机，减少到1/4额定电流）时读取两点读数。

额定转速变化率

$$\Delta n = \frac{n_0 - n_N}{n_N} \times 100\%$$

式中 n_0——空载（或1/4额定电流）的转速，r/min；

n_N——额定转速，r/min。

允许反转的电动机，应在每一个旋转方向读取额定转速变化率。

变速电动机应在最低额定转速及提高额定转速时读取转速变化率。

上述所测的转速变化率 Δn 也被称为转速调整率。

另外，电动机输出额定负载时的实际转速与铭牌规定的额定转速之差占铭牌额定转速的百分数 δ_n（%），称为该电动机的转速偏差。

一般用途的并励直流电动机，转速变化率 Δn 和转速偏差 δ_n 的考核标准见表3-9。

表 3-9 并励直流电动机转速调速率 Δn 和转速偏差 δ_n 限值

额定功率 P_N/W / 额定转速 n_N/（r/min）	转速调速率 Δn（%）	转速偏差 δ_n（%）
$P_N/n_N < 0.67$	18	±15
$0.67 \leqslant P_N/n_N < 2.5$	15	±10
$2.5 \leqslant P_N/n_N < 10$	12	±7.5
$P_N/n_N \geqslant 10$	10	±5.0

十一、无火花换向区域的测定

直流电动机无火花换向区域的测定，详见GB/T1311—1989。试验接线如图3-22所示。

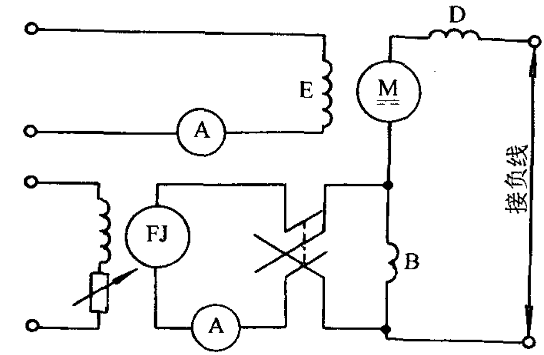


图 3-22 无火花区域试验接线图
B—换向极绕组 E—并励绕组
D—串励绕组 FJ—附加电源

1. 试验方法

1）试验应在电机的各部分的温度接近正常工作温度时进行。

2）试验电机从电机空载开始，空载时，量取电机能保持无火花换向的两个方向电流的限值。

3）逐渐改变电枢电流值，每隔25%额定电流量取一次读数值，直至等于125%额定电流时为止。

4）在每一电枢电流时量取电机能保持无火花换向的二个方向附加电流的限值。

5）绘制以附加电流为纵坐标，电枢电流为横坐标的关系曲线。上、下两曲线之间即为无火花换向区域。

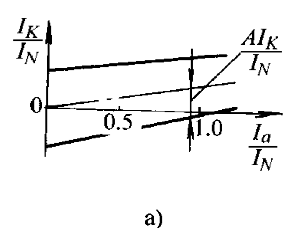
2. 从绘制的曲线作出判断

1）无火花换向区域平均线与横坐标轴近似重合，表明设计合理。

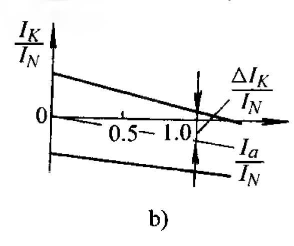
2）平均线自横坐标向上偏斜，表明换向极偏弱（图3-23a）。

3）平均线自横坐标向下偏斜，表明换向极偏强（图3-23b）。

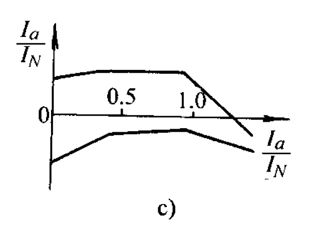
4）平均线呈弯曲形状，表明补偿不良（图3-23c）。



a）



b）



c）

图3-23　无火花区域曲线

a）换向极偏弱　b）换向极偏强　c）补偿不良

十二、整流电源供电时，电机的电压、电流纹波因数及电流波形因数的测定

1. 脉动电压、脉动电流最大值、最小值的测定

脉动电压、脉动电流最大值、最小值可用示波器记录电压、电流波形进行测定。

2. 电压、电流纹波因数计算

（1）电压、电流波形不间断时，纹波因数的计算

电压、电流波形不间断时（见图3-24）其纹波因数

$$K_{\sigma Cu}=\frac{U_{max}-U_{min}}{U_{max}+U_{min}}$$

$$K_{\sigma Ci}=\frac{I_{max}-I_{min}}{I_{max}+I_{min}}$$

式中　$K_{\sigma Cu}$——电压纹波因数；

U_{max}——脉动电压最大值，V；

U_{min}——脉动电压最小值，V；

$K_{\sigma Ci}$——电流纹波因数；

I_{max}——脉动电流最大值，A；

I_{min}——脉动电流最小值，A。

（2）电压、电流波形间断时，纹波因数的计算

电压、电流波形间断时（见图3-25）其纹波因数

$$K_{\sigma au}=\frac{U_{max}-U_{av}}{U_{av}}$$

$$K_{\sigma ai}=\frac{I_{max}-I_{av}}{I_{av}}$$

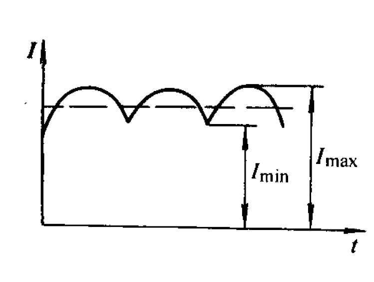
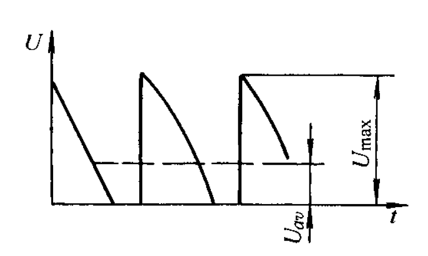


图3-24　电压、电流波形图



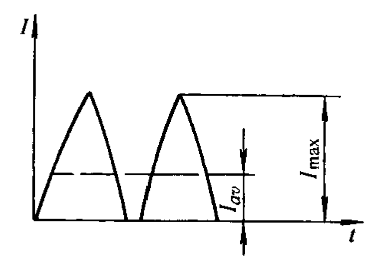


图3-25　电压、电流波形图

式中　$K_{\sigma au}$——电压纹波因数；

U_{max}——脉动电压最大值，V；

U_{av}——直流电压平均值，V；

$K_{\sigma ai}$——电流纹波因数；

I_{max}——脉动电流最大值，A。

I_{av}——直流电流平均值，A。

（3）电流波形因数的计算

$$K_f = \frac{I_{r \cdot m \cdot s}}{I_{av}}$$

式中　K_f——电流波形因数；

$I_{r \cdot m \cdot s}$——电流的有效值，A；

I_{av}——电流的平均值，A。

十三、电动机纹波损耗的测定

当电枢电流纹波因数超过 0.1 时，必须考虑由交流分量引起的纹波损耗，纹波损耗测定的接线如图 3-26 所示。

在电枢回路里最好串入空心电流互感器，如用带有铁心的互感器。互感器应有足够容量，以避免直流电流通过互感器原边绕组而引起的磁饱和。互感器副边绕组串联于低功率因数瓦特表电流线圈中；同时将用以隔离电压直流分量的电容器同低功率因数瓦特表

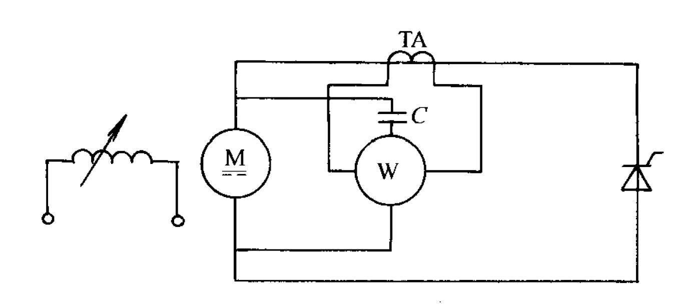


图 3-26　纹波损耗测定接线图
TA—电流互感器　C—电容器
W—低功率因数瓦特表

的电压线圈串联后，跨接在电枢的两端。电容器应有适当容量，以使电容器两端的交流压降不大于被测电压交流分量的 2%。由低功率因数瓦特表读取的交流输入功率，即为电动机的纹波损耗 $\Sigma P_{\sim}$。

为得到比较准确的试验结果，所用仪表和元器件的工作频率均应在 300Hz 以上。

考虑纹波因数损耗时，整流电源供电的直流电动机效率

$$\eta = \eta_D \frac{P_1}{P_1 + \Sigma P_{\sim}}$$

式中　P_1、η_D——用直流电源测得电动机的输入功率和效率。

第二节　牵引用直流电动机试验

一、试验项目及说明

牵引电机的型式试验应按表 3-10 全部项目进行；检查试验则只进行表内有 * 符号的项目。其中超速、起动、换向、绝缘电阻、匝间和对地绝缘介电强度试验等项目，均应在温升（发热）试验后热态下进行，以便能较充分地发现产品的质量问题。例如：对于换向器成型、换向片与电枢绕组导体的焊接、线圈匝间绝缘、绝缘处理、导线联接、轴承及部分机械加工等存在的问题，在热态下一般均可较充分地暴露；对于电机的换向火花，也能得到较严格的考核。

表 3-10　牵引电动机试验项目

序号	项目	说明
1*	外观及外形安装尺寸检查	外形及安装尺寸应符合安装图的规定
2*	绕组在实际冷态下直流电阻的测定	目的在发现绕组匝数是否正确，有无匝间短路现象，焊接及联接等是否存在质量问题。电阻值的允差为规定值的 ±3%
3	管道通风式电机换向器室内空气静压力头与通风量关系的测定	检验通风设计的准确性，并为以后确定风量提供风量风压的换算曲线
4*	温升试验	核对电机各绕组和换向器的小时制和连续制定额下的温升，是否符合有关规定（检查试验只做 1h 温升试验）
5*	超速试验	应符合有关要求

（续）

序号	项目	说明
6	起动试验	（1）对牵引电动机，在热态下把电枢堵住，通入最大电流维持30s，共进行4次。每次试验后电枢应顺同一方向转动1/4极距 （2）对辅助电动机，应在热态下，并带有运行时的全套起动和保护装置及相当于起动转矩的负载，承受最高和最低工作电压各5次的起动试验，每次试验间隔2min 电机能承受试验而无任何机械损坏及飞弧闪络等
7*	换向试验	（1）电机在额定及其以下电流（电动机到相应于最大工作转速的电流）的所有情况，其换向火花不应超过1½级 （2）应符合有关要求
8	有换向极电机的无火花换向区的测定	检查电机换向设计计算的正确性，确定换向磁势强弱，以便调整气隙或绕组匝数
9*	电机特性曲线试验	测定电机的有关数据，修正计算后绘成曲线，作为应用的依据 对电动机，绘制转速*、转矩、效率、空载等特性曲线对发电机，绘制调整*、效率、空载、外特性*等特性曲线
10*	电枢绕组过电压强度试验	以1.3倍额定电压运行3min（可用作空载发电机运行），匝间绝缘不应击穿
11*	绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定	在热态下每伏绝缘电压的绝缘电阻应不低于1000Ω，250V以下的电机的绝缘电阻不得低于0.25MΩ
12*	绕组对机壳及绕组相互间绝缘介电强度试验	应符合有关要求
13	重量测定	应符合技术条件
14	断开和接上电源电压试验（只适用于由接触网或接触网经变压器转换后供用的串励和复励电动机）	（1）牵引电动机：在小时制额定电流下，把电源电压断开0.5～1s后，再重新接上电源，每隔3～5min断开和接上1次，共进行6次。若需削弱磁场，则在额定磁场和最弱磁场下各进行3次。试验时电机的转速应尽可能不变，重新接上瞬间的端电压至少等于$1.2U_n$，接上后瞬间的端电压应不低于$0.9U_n$ （2）辅助电动机：电动机带有正常运行时的全部起动和保护装置、在最高电压及使用中可能出现的最弱磁场下切断电源，0.5～1s后重新接上，连续做5次，电机恢复到正常的负载条件时再切断 电机应能承受试验而无任何机械损坏及飞弧闪络等现象

二、牵引用直流电动机修理后的试验项目和性能要求

1. 总装和试验前的检查

1）对定子、电枢、刷架等部件进行质量检查，确认具有正常的工作性能，符合各零部件的技术要求时方可进行总装。

2）外观检查　各零部件间的紧固和连接是否可靠，换向器工作表面的状况是否良好，电刷上弹簧压力是否正常，电枢转动是否灵活等。

3）测量各绕组的直流电阻和绝缘电阻。

4）空负荷运转试验　先施以低电压在低速下旋转，无异常响声和振动时才可提高电压直到额定转速为止。停车后检查电刷的磨合面，应不小于 80% 为好。

2. 修理后的试验项目及要求

修理后的试验项目，通常按表 3-10 所列的检查试验项目。对各试验结果的要求是：

1）绕组温升　比标准容许值提高 5°C。

2）换向　各试验工况的火花不超过 2 级。

3）耐压试验　原标准值的 75% ~80%（重新包绝缘时不降低）。

4）额定转速及正、反向转差　为原允许偏差的 1.5 倍。

三、试验线路

直接负载法试验原理如图 3-27 所示；带升压发电机和线路发电机的串并联回馈法试验原理如图 3-28 所示。

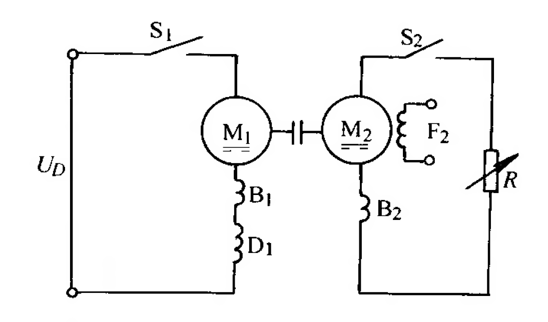


图 3-27　直接负载法原理图

M_1—被试电动机　M_2—陪试电动机（型号、规格与 M_1 同）　B_1—M_1 的换向极绕组　F_2、B_2—电机 M_2 的他励绕组和换向极绕组　D_1—M_1 的串励绕组　R—可调节的负载变阻器

直接负载法简便、易行，但耗电量大，故仅在小容量电机和不能采用回馈法时才使用。回馈法节电、调节平稳，是牵引电机最常用的试验线路。

在一些矿山修理单位，往往没有合适的试验机组，可用一台功率略大于被试电动机的直流发电机，供电给被试电动机，使其按串激电动机状态运行，再带动同轴连接的交流发电机，发出的电能可返回电网，达到省电的目的。交流发电机的功率要与被试电动机相匹配，以利于负载和转速的调节。在做超速和匝间试验时，被试电动机应改接成他励。这种试验方法的优点是试验的适应性强，在现场容易获得，适用于同时要试验几种牵引电机的场合。

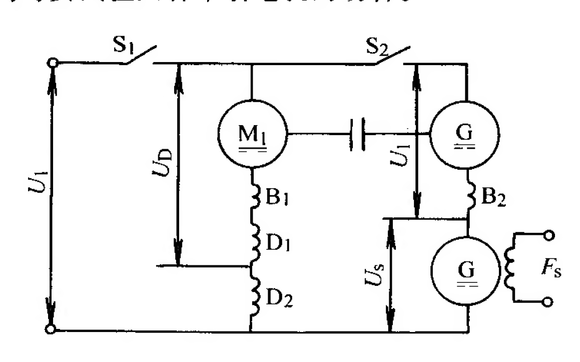


图 3-28　串并联回馈法

G—升压发电机　U_1—线路发电机端电压；U_s—升压发电机端电压　F_s—升压发电机的他励绕组

四、线路发电机额定数据的选择

线路发电机的功率主要用作补偿 M 和 G 的机械耗、磁滞损耗和附加损耗，考虑到短时过载、二台试验电机特性差异、试验线路上的损耗和工作稳定等，通常取为 $0.3P_D$。

线路发电机的额定电压至少应等于试验电机的额定电压 U_D，考虑到匝间绝缘试验的需要，最好应大于 $1.3U_D$。

线路发电机的额定电流约等于线路机功率除以线路机电压。

1. 升压机额定数据的选择

升压机的功率用于补偿 M 和 G 的铜耗，一般取为（0.3 ~0.4）P_D。考虑到 2 倍过电流，升压机的额定电流可等于被试电动机电流，但应能承受短时过电流的需要，否则应适当取大些。升压机的额定电压至少为 $0.1U_D$，考虑过载可选大为 $0.2U_D$。

2. 试验机组的驱动

通常线路发电机和升压机由各自的交流电动机带动，组成两台单独拖动的交-直发电机组，这种组合方式的缺点是机组多、浪费电能。目前一些牵引电机制造厂已改成为三机组的形式，即升压机和线路发电机由一台双侧传动的交流电动机驱动。

ISBN 978-7-111-23509-5

封面设计/电脑制作：姚毅

上架指导：工业技术/电工技术



编辑热线：(010)88379768

地 址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010)68326294
(010)68993821
网址：http://www.cmpbook.com(机工门户网)
E-mail:cmp@cmpbook.com
购书热线：(010)88379639 (010)88379641 (010)88379643

定价：38.00元